

# **Valor pronóstico de la resonancia magnética en la rehabilitación de la lesión medular traumática**

**Rubén Mora Boga**

Tesis doctoral UDC 2023

---

Directores:

**Antonio Montoto Marqués**

**Rosa María Meijide Faílde**

Programa oficial de doctorado en Ciencias de la Salud





El Dr. Antonio Montoto Marqués, Facultativo Especialista en Medicina Física y Rehabilitación de la Unidad de Lesionados Medulares del Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña, y Profesor Asociado del Área de Radiología y Medicina Física de la Universidad de A Coruña; y la Dra. Rosa M<sup>a</sup> Meijide Failde, Catedrática EU del Área de Radiología y Medicina Física de la Universidad de A Coruña, hacen constar que el trabajo titulado “*Valor pronóstico de la Resonancia Magnética en la rehabilitación de la lesión medular traumática*”, presentado por Rubén Mora Boga, ha sido realizado bajo nuestra supervisión y reúne los criterios necesarios de originalidad y rigor científico para que pueda ser presentado como tesis doctoral, por lo que autorizamos su presentación y defensa en la Universidad de A Coruña.

A Coruña a 10 de Enero de 2023

Fdo: Prof. Dr. Antonio Montoto Marqués

Prof. Dra. Rosa M<sup>a</sup> Meijide Failde



*A mis abuelos,*

*pues creo que les habría hecho ilusión ver esto*



Las primeras personas a las que quiero agradecer esto es a mis padres, por inculcarme desde pequeño eso de que “lo que se empieza, hay que terminarlo”, pues de otra forma ahora mismo no estaríais leyendo estas palabras.

Por supuesto debo dar las gracias también a los padres académicos, los Dres. Antonio Montoto y Rosa Meijide, directores de esta tesis, pues en todos los momentos complicados supieron proporcionarme la ayuda necesaria para sacarla adelante.

No puedo olvidarme tampoco del personal de la ULM, en especial el equipo médico, pues sin todo lo que he aprendido a su lado y las facilidades que me han concedido, este trabajo no hubiese sido posible. No quiero olvidarme de los residentes, mayores y pequeños, pues a fin de cuentas toda la información escrita de la que me he valido lleva la huella de cada uno de ellos.

Mi más sincero agradecimiento a la Dra. Sonia Pértiga, por su ayuda con la parte de estadística, y también a Olalla Vázquez, que colaboró en el análisis de las imágenes. No sólo se lo agradezco por la ayuda, sino también por todo lo que he aprendido a raíz de esta colaboración.

También le debo palabras de agradecimiento a Adrián Costa, puesto que me he aprovechado varias veces de él para que me ayudase con las traducciones al inglés

Muchas gracias también a Eva, por estar ahí y apoyarme-soportarme sobre todo durante las etapas más problemáticas.

Y también a Daniel, que no ha hecho nada concreto, pero ha insistido mucho en que lo mencione en los agradecimientos.

Rubén Mora Boga



El caos determinista nos enseña que sólo podríamos  
predecir el futuro si ya conociésemos el estado  
del mundo con una infinita precisión

**Ilya Prigogine**

**Premio Nobel de Química 1977**





# ÍNDICE

LISTADO DE MATERIAL GRÁFICO .....	V
LISTADO DE ABREVIATURAS .....	VII
RESUMEN.....	IX
Resumen breve	XVII
Resumo breve	XVIII
Short Abstract	XIX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Epidemiología de la LM	4
1.2 Clasificación de la LM	6
1.2.1 Grupos etiológicos	7
1.2.2 Nivel de lesión	8
1.2.3 Grado de lesión	9
1.2.4 Exploración neurológica en la LM	10
1.2.5 Síndromes medulares	15
1.3 Atención médica en la LM aguda	19
1.4 Rehabilitación en la LM	22



1.5 Pronóstico neurológico en la LM	25
1.5.1 Grado de lesión	25
1.5.2 Nivel de lesión	27
1.5.3 Otros factores	28
1.6 Técnicas de imagen en la LM	33
1.6.1 Radiografía (RX)	34
1.6.2 Tomografía computarizada (TC)	36
1.6.3 Resonancia magnética (RM)	38
1.6.4 Otras técnicas	44
1.7 Aplicación de las técnicas de imagen en la LMT	45
1.7.1 Valor pronóstico de la RM	53
2. JUSTIFICACIÓN.....	61
3. OBJETIVOS.....	65
4. PACIENTES Y MÉTODOS.....	69
4.1 Tipo de estudio	71
4.2 Ámbito del estudio	71
4.3 Período a estudio	71
4.4 Criterios de inclusión	72



4.5 Criterios de exclusión	72
4.6 Protocolo de radiodiagnóstico	74
4.7 Variables recogidas	74
4.7.1 Variables sociodemográficas	74
4.7.2 Variables relacionadas con el ingreso hospitalario	75
4.7.3 Características de la LM	75
4.7.4 Variables referidas a la comorbilidad	75
4.7.5 Variables relacionadas con la imagen de RM	76
4.8 Justificación del tamaño muestral	87
4.9 Análisis estadístico	87
4.10 Aspectos éticos y legales	88
5. ESTUDIOS.....	91
5.1 Prognostic value of early magnetic resonance imaging in the morbidity and mortality of traumatic spinal cord injury	93
5.2 Evaluation of the prognostic value of extra-parenchymal changes in traumatic spinal cord injury, assessed by magnetic resonance imaging	103
5.3 Prognostic value of early magnetic resonance imaging in the morbidity and mortality of traumatic spinal cord injury	115
6. DISCUSIÓN.....	125
6.1 Epidemiología de las alteraciones de RM	129
6.2 Valor pronóstico de los patrones de lesión en RM	135



6.3 Valor pronóstico de la compresión medular	146
6.4 Valor pronóstico de la lesión ligamentosa	149
6.5 Mortalidad	153
6.6 Nuevos horizontes	156
6.6.1 RM funcional	156
6.6.2 Otros marcadores pronósticos en la LMT	156
6.7 Limitaciones del estudio	158
7. CONCLUSIONES.....	163
8. BIBLIOGRAFÍA.....	167
9. ANEXOS.....	189
Anexo 1: Documento de valoración según los estándares internacionales para la clasificación neurológica de la lesión medular	189
Anexo 2: Dictamen favorable del comité de ética de la investigación del área sanitaria de A Coruña-Ferrol	193
Anexo 3 Publicaciones derivadas de la tesis doctoral	197
Anexo 4 Comunicaciones derivadas de la tesis doctoral	199

# LISTADO DE MATERIAL GRÁFICO

## TABLAS

Tabla 1. Graduación de la fuerza motora según la MRC	12
Tabla 2. Grados de lesión medular según la clasificación ASIA	13
Tabla 3. Patrones de lesión originales establecidos por Kulkarni y cols.	55

## GRÁFICOS

Gráfico 1. Incidencia anual de la LMT en Galicia 1995-2014	6
Gráfico 2. Características de la señal de la sangre en RM según el estadio evolutivo	40
Gráfico 3. Fiabilidad inter observador de las mediciones manuales realizadas en RM de LMT	143
Gráfico 4. Variación en el tiempo de la longitud del edema medular	161

## FIGURAS

Figura 1. Instrumentación cervical C3-5 en imagen de RX simple	35
Figura 2. Fractura-luxación de C4 en estudio de TC (reconstrucción sagital )	37
Figura 3. Fractura luxación de L1 con LM asociada, imagen en T2	39
Figura 4. Artefactos ferromagnéticos por instrumentación vertebral en un estudio de RM	44
Figura 5. Patrón normal	78



Figura 6. Edema a un nivel	79
Figura 7. Edema a varios niveles	80
Figura 8: Hemorragia medular	81
Figura 9. Sección medular completa	82
Figura 10. Medición de la estenosis medular según el método de Fehlings	84
Figura 11. Rotura de ligamentos amarillos a nivel C4-5	85
Figura 12. Rotura de ligamentos longitudinales anterior y posterior	86
Figura 13. Evolución de una LM con edema medular en un mismo paciente a las 24h y a los 30 días	145

# LISTADO DE ABREVIATURAS

ADC: Apparent Diffusión Coefficient

AIS: ASIA Impairment Scale

ASIA: American Spinal Injury Association

CHUAC: Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña

DTI: Diffusion Tensor Image

DWI: Diffusion Weighted Image

IM: Índice Motor

IS: Índice Sensitivo

ISNCSCI: International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury

LCR: Líquido CefaloRaquídeo

LM: Lesión Medular

LMT: Lesión Medular Traumática

MRC: Medical Research Council

RDM: Rango De Movimiento

RM: Resonancia Magnética

RX: Rayos X (utilizado habitualmente como abreviatura para Radiografía simple)

SCIM: Spinal Cord Independence Measurement

SCIWNA: Spinal Cord Injury Without Neuroimaging Abnormality

SCIWORA: Spinal Cord Injury Without Radiographic Abnormality

SEMAC: Slice Encoding for Metal Artefact Correction

SNA: Sistema nervioso Autónomo

SNC: Sistema Nervioso Central

SNP: Sistema Nervioso Periférico

TC: Tomografía Computarizada

UCI: Unidad de Cuidados Intensivos

ULM: Unidad de Lesionados Medulares

# RESUMEN

## Introducción y justificación

La Lesión Medular (LM) es un concepto que engloba todo tipo de proceso patológico médico o traumático que afecta a la médula espinal. Como consecuencia, se ve interrumpida en mayor o menor grado el control ejercido por el sistema nervioso central, provocando alteraciones que pueden involucrar la función muscular, la sensibilidad y las funciones viscerales controladas por el sistema nervioso autónomo. Aunque limitada, las células del sistema nervioso presentan un cierto grado de capacidad regenerativa, por lo que existen posibilidades de presentar algún tipo de recuperación en las funciones medulares infralesionales. Sin embargo, el pronóstico funcional de la LM es una incógnita sobre la que sólo podemos realizar estimaciones. No obstante, estas estimaciones resultan de gran interés tanto para guiar la actuación de los servicios sanitarios como para informar a los individuos lesionados y a su círculo.

Existen una serie de factores que han demostrado asociarse con un mejor o peor pronóstico en la LM, como son la edad y la presencia de determinadas comorbilidades. De entre todos los factores conocidos, son los datos proporcionados por la exploración física reglada según los International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI) los que han demostrado una mayor relación con el pronóstico. Pese a esto, no deja de ser útil la búsqueda de otros factores pronósticos que puedan ayudarnos a afinar en nuestras estimaciones, sobre todo de cara a los casos en que la exploración no puede llevarse a cabo.

Durante los últimos años se han analizado diferentes elementos valorables mediante pruebas de imagen que han demostrado relacionarse con la evolución de la LM. Dentro de las pruebas de imagen, la más analizada ha sido la Resonancia Magnética (RM), dada su capacidad para caracterizar los tejidos blandos y la propia médula espinal, siendo considerada como *gold standard* en el estudio de esta patología.

Ciertos estudios han sugerido que la imagen de la lesión en RM se podría correlacionar con el pronóstico funcional en la LM. Los primeros trabajos al respecto son antiguos, pero en los últimos años esta hipótesis ha sido analizada cada vez en más trabajos, impulsados por el mayor acceso a este tipo de estudios. Varios son los elementos que han sido analizados, si bien en pocos trabajos se han realizado evaluando muestras amplias de un mismo centro.

## Objetivos

### Principal

Analizar la utilidad y fiabilidad de la RM en la valoración del pronóstico de los pacientes con LM traumática aguda.

### Secundarios

Evaluar la relación entre los patrones de lesión parenquimatosa (valorados en imagen de RM) y la evolución neurológica en la LM.

Analizar la influencia de la compresión del cordón medular en la evolución neurológica de los individuos con LM.

Analizar la influencia de las lesiones del sistema ligamentoso vertebral en la evolución neurológica de los individuos con LM.



Valorar la utilidad de la RM realizada en la fase aguda para predecir la mortalidad y la necesidad de ingreso en Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) en lesionados medulares.

## **Metodología**

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y retrospectivo. Se recogieron los pacientes con LM aguda de etiología traumática que ingresaron en la Unidad de Lesionados Medulares (ULM) del Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña entre el 1 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2018. Sólo se seleccionaron aquellos casos en los que se disponía de imágenes de RM accesible en el momento de realización del estudio.

Fueron excluidos aquellos individuos que presentaban otras patologías, previas o concurrentes, que pudiesen dificultar la valoración radiológica, la exploración física reglada o la realización de un correcto tratamiento rehabilitador. También se excluyeron los individuos menores de edad, los que presentaban síndrome de cola de caballo y los casos con RM de mala calidad o presencia de instrumentación vertebral en el nivel de la lesión.

Se establecieron 5 grupos por el patrón de daño del parénquima medular: patrón normal, edema inferior a un nivel, edema a varios niveles, hemorragia medular y sección completa.

Se valoró asimismo la existencia de Compresión del Cordón Medular (CCM). También se valoró la existencia o no de Lesión de Ligamentos Vertebrales (LLV) según se detectase una rotura en uno o más de los siguientes ligamentos: ligamento longitudinal anterior, ligamento longitudinal posterior y sistema ligamentosos amarillo.

Se compararon los datos de la valoración según los ISNCSCI realizada al ingreso y en el momento del alta focalizando en el grado de lesión o ASIA Impairment Scale (AIS) y el Índice Motor (IM).

Se valoró también la mortalidad y la necesidad de ingreso en UCI.

También se recopilaron otros datos como la edad, el sexo, la existencia de lesiones vertebrales y traumatismos a otros niveles.

## Resultados

La presente tesis es un compendio de tres estudios:

**Estudio 1:** El objetivo del trabajo fue evaluar la relación entre los patrones de lesión parenquimatosa, valorados mediante estudio de RM, y la evolución neurológica en la LM. Se seleccionaron 296 pacientes. Los casos con patrón medular normal y sección completa fueron excluidos por baja muestra. Los individuos con edema medular de tamaño inferior a un nivel presentaban sobre todo lesiones incompletas, mientras que aquellos con hemorragia medular eran sobre todo lesiones completas. Los edemas a varios niveles presentaban porcentajes más cercanos de lesiones completas e incompletas. Se produjo una mejoría de grado AIS en el 40,9% de los edemas inferiores a un nivel, siendo la cifra de 20,2% en edemas más extensos y del 19,0% en las hemorragias medulares ( $p=0,042$ ). Al excluirse los grados AIS D los porcentajes aumentaron respectivamente al 70.3%, 52.2%, y 19.4% ( $p<0.001$ ). Al someterlo a un análisis multivariante esta relación significativa fue confirmada, si bien su utilidad como factor pronóstico siguió siendo inferior al de la exploración reglada según los ISNCSCI ( $p=0.005$  por  $p<0.001$ ). La variación media del IM resultó significativamente diferente

( $p<0.001$ ) en los tres patrones mayoritario, siendo de  $22.6\pm 21.4$  en el edema inferior a un nivel,  $16.9\pm 21.1$  en los multinivel y  $4.5\pm 8.4$  en los casos de hemorragia.

**Estudio 2:** El objetivo del trabajo fue analizar la influencia de la CCM medular y de la LLV en la evolución neurológica de los individuos con LM. Fueron seleccionados 296 pacientes. Se apreció la existencia de una relación significativa entre la presencia de CCM y LLV y la existencia de LM completa ( $p<0.001$ ). Se objetivaron mejorías en el grado AIS en el 31.6% de los casos con CCM y en el 31.3% de quienes presentaban LLV, siendo las cifras respectivamente del 42.7% y el 37.8% entre quienes no presentaban dichas alteraciones. Con respecto al IM, las cifras iniciales en los lesionados con CCM eran menores, con una media de  $46.9\pm 26.8$  por un  $61.1\pm 29.9$  de quienes no presentaban CCM ( $p<0.001$ ), y el porcentaje de cambio a lo largo del ingreso fue también inferior, un  $35.1\pm 37.5\%$  por un  $49.4\pm 38.1\%$  de los controles ( $p=0.010$ ). Algo similar ocurrió en los individuos con LLV con cifras iniciales de  $45.9\pm 26.7$  por  $54.9\pm 29.4$  del grupo control ( $p=0.014$ ) y porcentaje de cambio del  $28.5\pm 37.1\%$  por un  $46.0\pm 37.5\%$  in del grupo a comparar ( $p=0.001$ ).

**Estudio 3:** El objetivo del trabajo fue valorar, en los casos de LM traumática, la utilidad de la RM realizada en la fase aguda para predecir la mortalidad y la necesidad de ingreso en UCI. Se seleccionaron 269 casos. El patrón de lesión que se asoció a una mayor mortalidad fue la hemorragia, con un 16,7% por el 12,5% de los edemas a múltiples niveles y el 6,5% de los inferiores a un nivel ( $p=0,125$ ). Sucedió lo mismo con los casos que precisaron ingresar en UCI, siendo los porcentajes de 69,0% en las hemorragias, 60,2% en los edemas múltiples y 46,3% en los edemas de menor tamaño ( $p=0,018$ ).

Respecto a las LM con CCM, la mortalidad fue del 13,4% con un 59,2% de ingresos en UCI, por 2,2% y 42,2% de quienes no presentaban CCM ( $p=0,020$  y  $p=0,003$ ). En los

individuos con LLV los porcentajes de éxitus en ingreso en UCI fueron respectivamente del 15,0% y el 67,3%, por un 6,2% y 44,4% de los individuos sin LLV ( $p<0,001$  y  $p=0,013$ ).

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en los estudios que constituyen esta tesis doctoral han permitido mejorar nuestro conocimiento acerca de la utilidad de la RM en el estudio de la LM traumática, no sólo por su valor diagnóstico sino también por su capacidad para predecir el pronóstico a largo plazo

En los casos de LM traumática se ha demostrado una relación entre los patrones de lesión medular en la imagen de RM realizada en fase aguda y la evolución neurológica, aunque su valor para predecir el pronóstico resulta inferior al del grado de lesión en los momentos iniciales. Estos patrones muestran una buena correlación con el grado de lesión medular, existiendo un alto porcentaje de lesiones completas entre los individuos con hemorragia medular; moderado en casos de edemas a múltiples niveles; y bajo en los edemas a un nivel. Los valores de IM al ingreso han demostrado asimismo ser superiores en los casos de edema a un nivel, en comparación con los edemas a varios niveles y las hemorragias medulares.

Las lesiones con patrón hemorrágico tienen menos posibilidades de mejorar su grado AIS y su IM, mientras que los pacientes con edema a un nivel mejoran en mayor medida que aquellos que presentan patrón de edemas más extensos.

Un bajo porcentaje de lesiones sin alteración del parénquima medular son incompletas, presentando una buena recuperación durante la fase aguda. Las secciones medulares conllevan la existencia de lesiones completas que apenas mejoran.

Los casos de LM con CCM se asocian con lesiones completas e IM más bajos. Independientemente del grado de lesión, estos pacientes tienen menores posibilidades de mejorar estas cifras. De la misma forma, la existencia de LLV también se asocia a una mayor frecuencia de lesiones completas y a una menor probabilidad de mejoría del grado AIS y el IM.

Los patrones de imagen de RM de edema multinivel y hemorragia intraparenquimatosa se asocian a una mayor probabilidad de ingreso en UCI, mientras que la presencia CCM y LLV vertebrales implican un mayor riesgo de mortalidad y necesidad de ingreso en UCI.



# RESUMEN BREVE

**Objetivos:** Analizar la relación entre las alteraciones detectadas en la imagen de resonancia magnética (RM) y la recuperación neurológica en individuos con lesión medular traumática (LMT),

**Métodos:** Estudio retrospectivo. Pacientes con LMT y estudio de RM realizado en la fase aguda de la lesión.

Se valoró en la imagen la existencia de alteraciones de señal medular, compresión del cordón medular (CCM) y lesión de ligamentos vertebrales (LLV). Se comparó la exploración neurológica al ingreso y al alta.

**Resultados:** Un 40,9% de los individuos con edema a un nivel y un 20,2% de los edemas de mayor tamaño mejoraron su grado AIS por un 19,0% de las hemorragias. La variación del índice motor (IM) también fue significativamente diferente en los grupos:  $59.8 \pm 27.2$ ,  $42.5 \pm 29$  y  $41.6 \pm 21.7$  respectivamente.

Un 31.6% de los individuos con CCM mejoraron su grado de lesión por un 42.7% de quienes no la presentaban, y un 31.3% de casos con LLV presentaron mejoría por un 37.8% del grupo control. Respecto al IM, los individuos con CCM presentaron porcentajes de cambio inferiores:  $35.1 \pm 37.5\%$  por  $49.4 \pm 38.1\%$ . Lo mismo ocurrió con los casos con LLV, siendo los porcentajes  $28.5 \pm 37.1\%$  y  $46.0 \pm 37.5\%$ .

**Conclusiones:** Existe una peor evolución neurológica en LMT que presentan hemorragia parenquimatosa, CCM y LLV.

# RESUMO BREVE

**Obxectivos:** Analizar a relación entre as alteracións detectadas nas imaxes de resonancia magnética (RM) e a recuperación neurolóxica en individuos con lesión medular traumática (LMT),

**Métodos:** Estudio retrospectivo. Pacientes con LMT e estudo de RM realizado na fase aguda da lesión.

Valoráronse na imaxe as alteracións da sinal medular, a presenza de compresión do cordón medular (CCM) e a lesión dos ligamentos vertebrais (LLV). Camparáronse as exploracións neurolóxicas realizadas ó ingreso e á alta.

**Resultados:** Un 40,9% dos individuos con edema a un nivel e un 20,2% dos edemas de maior tamaño melloraron o seu grado AIS por un 19,0% das hemorraxias medulares. A variación do índice motor (IM) foi tamén significativamente diferente nos grupos a comparar:  $59.8 \pm 27.2$ ,  $42.5 \pm 29$  e  $41.6 \pm 21.7$  respectivamente.

Un 31.6% dos individuos con CCM melloraron o seu grado de lesión por un 42.7% dos que non presentaban, e un 31.3% de casos con LLV presentaron melloría por un 37.8% do grupo control. Respecto ó IM, os individuos con CCM presentaron cifras menores de porcentaxe de cambio:  $35.1 \pm 37.5\%$  por  $49.4 \pm 38.1\%$ . Aconteceu o mesmo cos casos con LLV, sendo as porcentaxes de  $28.5 \pm 37.1\%$  e  $46.0 \pm 37.5\%$ .

**Conclusións:** Existe unha peor evolución neurolóxica nas LMT que presentan hemorraxia parenquimatosa, CCM y LLV.

# SHORT ABSTRACT

**Objectives:** To analyze the relationship between magnetic resonance imaging (MRI) alterations and neurological recovery in individuals with traumatic spinal cord injury (tSCI).

**Methods:** Retrospective study carried out on patients with tSCI and MRI carried out in the acute moment.

Alterations in the spinal cord signal, existence of spinal cord compression (SCC) and vertebral ligaments disruption (VLD) were assessed in the image. AIS Injury Severity (AIS) score at admission and discharge was compared.

**Results:** 40.9% of the individuals with one-level edema and 20.2% of those with long edema improved their AIS grade while percentage was 19.0% for the hemorrhages. Variation of motor index (MI) was also significantly different in the groups, respectively  $59.8 \pm 27.2$ ,  $42.5 \pm 29$  and  $41.6 \pm 21.7$ .

31.6% of individuals with SCC improved their AIS grade compared to 42.7% of those without compression, and 31.3% of cases with VLD improved compared to 37.8% of the control group. Regarding the MI, the percentage of change in individuals with SCC was lower:  $35.1 \pm 37.5\%$  for  $49.4 \pm 38.1\%$ . Similar happened with the patients with VLD, being the percentages  $28.5 \pm 37.1\%$  and  $46.0 \pm 37.5\%$ .

**Conclusions:** Neurological evolution in tSCI is worse in individuals who concur with parenchymal hemorrhage, SCC and VLD.





# **1** Introducción



# 1. Introducción

La lesión medular (LM) es un concepto que engloba cualquier tipo de alteración producida a nivel del parénquima de la médula espinal. Como consecuencia de esta lesión se produce una interrupción, que puede ser total o parcial, de la comunicación entre el encéfalo y la superficie corporal distal a la lesión, provocando alteraciones que pueden afectar a varios sistemas corporales. Resultan de sobra conocida la repercusión que estas lesiones pueden producir tanto a nivel de la capacidad motora como de la sensitiva, pero sin embargo éstos no son los únicos sistemas que se ven afectados, ya que las funciones viscerales, como son la función excretora o el control de la respiración y el ritmo cardíaco, las cuales son controladas por el sistema nervioso autónomo, también se ven alteradas en mayor o menor medida, lo cual supone un importante riesgo para la supervivencia del individuo tanto a corto como largo plazo.

Si bien afortunadamente la incidencia de la LM no es elevada, se trata de una patología que es importante conocer, puesto que precisa de un manejo integral específico, presentando particularidades que no se encuentran en individuos con otras patologías. Por este motivo se han establecido unidades especializadas en la atención de la LM, que ejercen la coordinación de los cuidados de estos individuos. La atención prestada no se limita únicamente a la fase aguda de la lesión, debido a que los afectados por LM presentan complicaciones propias de esta patología que suponen un incremento en el número de atenciones recibidas por parte de los sistemas de salud (1-3).

## 1.1 Epidemiología de la LM

La Organización Mundial de la Salud estima una incidencia a nivel mundial de entre 250000 y 500000 nuevos casos de LM por año (4). No obstante, las cifras varían mucho en las diferentes muestras (5, 6), incluso dentro del mismo país. Los datos pueden diferir además si se contabilizan todas las causas etiológicas, aunque en general los estudios de prevalencia se centran en la lesión medular traumática (LMT). Por ejemplo, una revisión publicada en 2010 con casos de varios países de diferentes continentes expuso unas cifras de LMT que oscilaron entre los 12,1 casos/millón de Holanda y los 57,8 casos/millón de Portugal (7). Como norma general, se considera que la incidencia es menor conforme aumenta el nivel de desarrollo de las sociedades (8, 9). Dando por cierto este hecho, podríamos considerar que la incidencia a nivel mundial debería estar disminuyendo, dado que el nivel de desarrollo de la sociedad global tiende a incrementarse, pero sin embargo, atendiendo a las estimaciones más recientes se observa que la incidencia, si bien no se acrecienta, tampoco desciende de forma significativa (10), hecho que se puede achacar en gran parte a la mayor eficiencia diagnóstica y la mayor tasa de supervivencia entre los afectados.

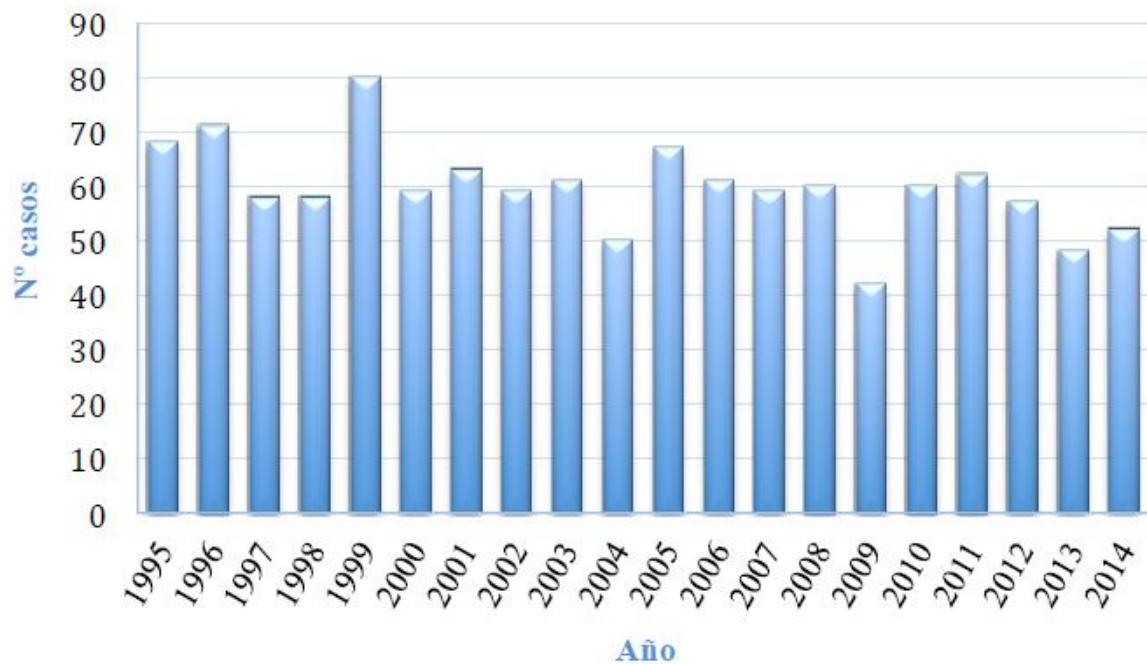
Si bien se puede aceptar que la incidencia no varía de manera significativa, sí que se ha observado en los últimos años un cambio en el perfil de los individuos afectados dentro las sociedades más industrializadas (11). De esta forma, en los países con mayor desarrollo los casos de LM secundaria a accidentes de tráfico se han visto reducidos, siendo en el momento actual las caídas, sobre todo entre la población geriátrica, la causa más común de LM (12). Sirva como ejemplo la comparación entre dos estudios realizados en fechas cercanas: uno en Dinamarca, donde el 36,8% de las lesiones eran secundarias a accidentes de tráfico (13), y un segundo en Botswana, donde este porcentaje era del

68% (14).

En el caso particular de España, ciertos trabajos publicados han presentado cifras que nos dejan con una de las tasas de incidencia más bajas del planeta (15). No obstante, siempre es necesario tener en consideración la gran variabilidad entre trabajos y los diferentes criterios de inclusión utilizados. Realizando una comparación con los trabajos anteriormente citados, podemos concluir que la incidencia se movería en cifras similares a las de otros países de su zona, apreciándose al igual que en éstos un aumento en la media de edad de los lesionados y un progresivo descenso de los casos secundarios a accidentes de tráfico y laborales, lo que se podría achacar tanto a las mejoras progresivamente implantadas en términos de seguridad vial y laboral como a las campañas de prevención (16). Por poner un ejemplo, un estudio realizado en Canarias, contabilizando sólo casos de etiología traumática, describió una incidencia de 0.93 lesionados por cada 100.000 habitantes en los últimos 15 años con un incremento de 10 años en la media de edad y un elevado porcentaje de caídas (17). Unos años antes se había publicado otro estudio epidemiológico en Aragón que arrojaba conclusiones similares, en este caso con una incidencia de 1.55 lesionados por cada 100.000 habitantes (18).

Con respecto a la comunidad gallega, recientemente se ha publicado un estudio realizado en la Unidad de Lesionados Medulares (ULM) del Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC) (19), en el que se objetivó una incidencia de LM traumática de 2,17 lesionados por cada 100.000 habitantes año entre los años 1995 y 2014, demostrándose una tendencia a la baja a lo largo del periodo a estudio, siendo durante el último año analizado de 1,89 por cada 100.000 habitantes (Gráfico 1). De la misma forma, en esta muestra se observó también la misma tendencia al aumento progresivo de la edad media

y la reducción de los casos secundarios a accidentes de tráfico que ya se ha citado anteriormente.



**Gráfico 1: Incidencia anual de la LMT en Galicia 1995-2014**

Extraído de Montoto-Marqués A. Lesión medular traumática en Galicia

(1995-2014): estudio de la evolución epidemiológica y resultados clínico-funcionales.

## 1.2 Clasificación de la lesión medular

La LM es un síndrome cuyo diagnóstico se realiza en base a los hallazgos exploratorios, por lo que es necesario objetivar la presencia de una sintomatología específica (20), si bien aún con ello las pruebas complementarias resultan de gran ayuda como apoyo.

Como en toda atención médica, es preciso realizar una correcta anamnesis para definir todos los aspectos de la misma. De esta forma, con toda la información obtenida es posible clasificar la lesión en base a ciertos aspectos, siendo imprescindible para plantear la atención sanitaria conocer su etiología, el nivel medular y el grado de lesión. Cada una de estas categorías implica unas peculiaridades específicas que no sólo determinan el manejo a seguir, sino que también influyen de manera manifiesta sobre el pronóstico, lo que orienta en la toma de decisiones a lo largo del seguimiento de los individuos con lesión.

### *1.2.1 Grupos etiológicos*

El primer aspecto a tener en cuenta en la atención de una LM aguda es la causa de esta lesión, pues esto determina una diferencia importante en los protocolos de actuación. Las LM se dividen de esta forma en dos grandes grupos etiológicos:

#### ***LM de causa médica***

Son lesiones que se producen como consecuencia de una noxa no traumática. En esta categoría se recogen una serie de etiologías muy diversas, como son las lesiones de causa infecciosa, las isquemias medulares, enfermedades neurodegenerativas como la esclerosis múltiple, ciertas enfermedades autoinmunes como el lupus, las lesiones congénitas y los tumores y neoplasias sanguíneas, ya sean intramedulares o extramedulares. También forman parte de este grupo las LM iatrogénicas, que son aquellas que se producen como consecuencia de la realización de una técnica o procedimiento médico en la zona medular o perimedular, como por ejemplo las ocurridas como consecuencia después de una cirugía, anestesia o punción lumbar.

Debido a la gran heterogeneidad, el manejo de estas lesiones debe individualizarse según el subtipo, precisando muchas de ellas actuaciones específicas sobre el desencadenante antes de poder iniciar el proceso rehabilitador, como en el caso de las infecciones o las neoplasias. Asimismo, resulta mucho más complicado realizar comparaciones y establecer pronósticos, pues la evolución será diferente dependiendo de la causa de la lesión y la posibilidad de tratar la causa primaria.

### ***LM traumática (LMT)***

Bajo este epígrafe se incluyen todas las lesiones producidas a raíz de cualquier traumatismo externo que provoque un daño sobre la estructura de la columna vertebral y sus contenidos, pudiendo existir o no una lesión ósea concomitante. Se trata del subgrupo más característico y conocido dentro de la LM. Las causas por las que se puede producir una LMT son los accidentes de tráfico, precipitaciones, zambullidas, traumatismos directos, heridas de arma blanca y heridas por arma de fuego. Clásicamente se ha considerado las LMT más frecuentes que las de causa médica, si bien en los últimos años esta proporción se ha visto modificada siendo superadas en algunas muestras por las de etiología médica (19), lo que podría deberse a la mayor visibilidad y eficacia diagnóstica de las lesiones de etiología no traumática. Independientemente del tipo de traumatismo, el comportamiento y evolución de las LMT es relativamente uniforme (siempre dependiendo de si existen o no otros factores añadidos que puedan modificar el pronóstico), siendo por lo tanto más sencillo predecir la evolución, complicaciones y el manejo a seguir.

#### *1.2.2 Nivel de lesión*

Otro elemento clave a la hora de valorar una LM es el nivel al que afectan, esto es, la

zona de la médula donde se ha producido el daño. De esta forma, las LM se pueden dividir en dos grandes grupos. El primero de estos grupos es el de las tetraplejias, que son las lesiones que afectan a las metámeras cervicales, presentando como consecuencia algún grado de disfunción a nivel de los miembros superiores. El segundo grupo lo constituyen las paraplejias, las lesiones que afectan al resto de segmentos medulares, y producen déficits por lo tanto a nivel del tronco y/o los miembros inferiores.

Dentro de las paraplejias se puede precisar la región concreta de la médula que ha sido afectada, que puede corresponderse con la médula torácica o bien con la lumbosacra. En ninguno de estos casos se verán implicados los miembros superiores, pero sí existen diferencias en cuanto al comportamiento al comparar ambos niveles, ya que en las lesiones a nivel torácico se puede producirse un daño a nivel del sistema nervioso simpático, algo que nunca ocurrirá a nivel lumbosacro, donde sí puede existir una afectación del componente parasimpático.

Con un correcto conocimiento de la exploración neurológica es posible afinar todavía más en la localización de la lesión y establecer qué metámera concreta es la que ha sido dañada en base a la sintomatología producida en determinados músculos y dermatomas. Las pruebas de imagen constituyen un buen apoyo para esta tarea, pero no obstante la exploración neurológica sigue siendo la forma más precisa de establecer el nivel.

### *1.2.3 Grado de lesión*

Otro aspecto de gran importancia a la hora de evaluar una LM es el grado de lesión, que es el reflejo de la cantidad y tipo de fibras y células nerviosas que han sufrido una alteración en su función. El grado de lesión tiene, por lo tanto, una clara influencia en el

pronóstico funcional del individuo, pues los casos en que la actividad por debajo del nivel de lesión es nula, la probabilidad de experimentar una mejoría neurológica se reduce de forma drástica. Si bien las pruebas de imagen nos permiten objetivar el volumen del daño producido a nivel medular, nuevamente la realización de una correcta exploración física es hasta la fecha la mejor forma de valorarlo.

### *1.2.4 Exploración neurológica en la LM*

Como se ha explicado en el punto anterior, el método de elección para el diagnóstico y clasificación de una LM es la exploración física. Con el objetivo de unificar los criterios de cara a la práctica clínica, un comité de expertos liderado por los miembros de la American Spinal Injury Association (ASIA) desarrolló en 1982 un protocolo exploratorio para la valoración de individuos con LM, que tras haber sufrido varias modificaciones se conoce en la actualidad como International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI) (21), (Anexo 1). Se trata de una valoración que no precisa de ningún material especial y resulta por lo tanto accesible a cualquier facultativo, habiendo demostrado una buena correlación interobservador (22).

Este protocolo de exploración valora por una parte la capacidad motriz de una serie de músculos clave representativos de las 20 metámeras de la médula espinal correspondientes a las cuatro extremidades, aportando 5 músculos cada una de ellas, que son simétricos en ambos hemisferios. Por otra parte, se valora también la presencia de alteraciones en la sensibilidad de los 56 dermatomas de la superficie corporal (28 en cada hemisferio), evaluando de forma independiente la sensibilidad táctil y la termoalgésica. Por último, se valora a nivel caudal la función motora y sensitiva del área anal y perianal, que se corresponde con las últimas neuronas que abandonan la estructura medular,

situadas en la región del cono medular.

La valoración de estos elementos permite obtener unas puntuaciones. En el caso del componente motor, la fuerza de cada músculo clave se gradúa en una escala de 0 a 5 utilizando la valoración de la Medical Research Council (MRC) (Tabla 1) (23). La sensibilidad en cualquiera de sus formas se valora de 0 a 2, siendo 0 la ausencia de sensibilidad o la incapacidad para distinguir un estímulo táctil de uno doloroso, 1 la preservación de discriminación sensitiva de la modalidad explorada pero en un grado menor de lo normal y 2 la normalidad en la percepción sensitiva. En el caso de la sensibilidad y contractilidad de la zona anal, sólo es preciso discriminar si existe presencia o ausencia de los mismos.

En base a la información obtenida, una lesión en la que no se percibe ningún tipo de actividad motora o sensitiva en los dermatomas inferiores a la zona lesionada, incluyéndose las zonas anal y perianal, se considera una lesión completa, también llamada ASIA Impairment Scale (AIS) A; mientras que en los casos en que existe algún tipo de sensibilidad, aunque fuese mínima, sin apreciarse actividad motora alguna por debajo de la zona lesionada, se clasifica la lesión como sensitiva incompleta o AIS B. Por otro lado, aquellas lesiones en las que se detecta algún tipo de actividad motora por debajo del nivel de lesión se denominan incompletas motoras, y se clasifican según la intensidad de la fuerza motora conservada en AIS C y D (Tabla 2).

Tabla 1. Graduación de la fuerza motora según la MRC

Fuerza	Significado
0	Parálisis total
1	Contracción visible o palpable
2	Movimiento activo, rango de movimiento (RDM) completo con eliminación de gravedad
3	Movimiento activo, RDM completo contra gravedad
4	Movimiento activo, RDM completo contra resistencia moderada en una posición muscular específica
5	(Normal) movimiento activo, RDM completo contra resistencia total en una posición muscular específica esperada en una persona sin deficiencia alguna

Extraído de: UK MRC. Aids to the investigation of Peripheral Nerve Injuries

Asimismo, la suma de los valores obtenidos en la exploración motora y sensitiva nos proporciona unos índices numéricos que resultan de gran utilidad en la valoración de la LM. En el caso de la función motora recibe el nombre de Índice Motor (IM) y varía de 0 a 100, y en el caso de la sensitiva, se denominan Índices Sensitivos (IS) existiendo dos diferentes en función de la modalidad sensitiva evaluada (IS táctil e IS doloroso) con cifras que en ambos casos pueden ir de 0 a 112.

**Tabla 2. Grados de lesión medular según la clasificación ASIA**

Grado	Significado
<b>A</b>	<p><b>Lesión completa</b></p> <p>No hay preservación de función motora ni sensitiva en los segmentos sacros S4-5.</p>
<b>B</b>	<p><b>Lesión sensitiva incompleta</b></p> <p>Hay preservación de la función sensitiva pero no de la motora en los segmentos sacros más distales S4-5 (tacto fino o pinchazo en S4-5 o presión anal profunda), y no hay preservación de función motora en más de tres niveles por debajo del nivel motor en uno u otro lado del cuerpo.</p>
<b>C</b>	<p><b>Lesión motora incompleta</b></p> <p>Se preserva la función motora en los segmentos sacros más caudales durante la contracción anal voluntaria o el paciente cumple con los criterios de lesión sensitiva incompleta (función sensitiva preservada en los segmentos sacros S4-S5 al examinar tacto fino o pinchazo en S4-5 o presión anal profunda), con presencia de función motora en más de tres segmentos por debajo del nivel motor ipsilateral en cualquiera de lados del cuerpo.</p> <p>(Esto incluye funciones de músculos clave o no clave en más de tres segmentos por debajo del nivel motor para determinar el estado motor incompleto). Para ser clasificado como AIS C menos de la mitad de los músculos clave por debajo del nivel de lesión tienen una clasificación de <math>\geq</math> a 3.</p>
<b>D</b>	<p><b>Lesión motora incompleta</b></p> <p>El estado motor incompleto tal y como fue definido en la fila superior, con al menos la mitad (la mitad o más) de la función de los músculos clave por debajo del nivel de lesión con una clasificación de músculo <math>\geq</math> a 3.</p>
<b>E</b>	<p><b>Lesión sin secuelas</b></p> <p>Si la sensibilidad y la función motora que se examinan con el ISNCSCI se clasifican como normales en todos los segmentos, y el paciente tenía déficits previos, entonces la clasificación AIS es E. Alguien sin LM inicial no recibe grado AIS.</p>

Extraído de: American Spinal Injury Association. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury.

Además del grado de lesión, esta valoración neurológica permite establecer también el nivel de la misma. En este caso, el nivel viene dado por la última metámera medular en la que no se detecta ningún tipo de alteración neurológica. Para ser más precisos, se deberá localizar la última metámera que presente conservación íntegra en ambos hemisferios de las dos sensibilidades exploradas, así como una actividad motora de al menos 3/5 según la MRC, siempre que el balance motor de las metámeras inmediatamente superiores sea de 5/5.

La exploración neurológica reglada ISNCSCI es una modificación de la escala Frankel, el primer protocolo exploratorio reglado desarrollado para la valoración de individuos con LM, ideada en el Hospital de Stoke-Mandeville, primer centro íntegramente dedicado a la rehabilitación de lesionados medulares (24). Ambas escalas presentan grandes similitudes, siendo la mecánica exploratoria similar y dividiendo también las lesiones en 4 grados. La principal diferencia entre ambas es que la escala Frankel valora de una forma más subjetiva la distinción entre los grados C y D, algo que la ASIA trató de hacer más objetivo aplicando a las recomendaciones para la graduación de la fuerza motora desarrolladas por la MRC (25). A pesar de esto, incluso en décadas recientes, algunos estudios publicados han continuado sirviéndose de la escala Frankel. No obstante, a día de hoy se recomienda utilizar la exploración según los ISNCSCI, puesto que ha demostrado una mejor correlación interobservador (26).

En los últimos años los comités de expertos han sugerido la necesidad de realizar algunas actualizaciones en la exploración neurológica reglada. Las críticas más frecuentes a la misma recalcan que, si bien ésta permite caracterizar muy bien el daño a nivel motor y sensitivo, no valora de ninguna forma el componente autonómico, al que cada vez se le está otorgando una mayor importancia (27). Asimismo, el dolor y la espasticidad,

fenómenos determinantes en la calidad de vida de los pacientes, tampoco juegan ningún papel en la misma (25).

El manejo de la exploración según los ISNCSCI resulta de gran ayuda de cara a plantear el manejo clínico de una LM aguda o crónica. No obstante, no siempre resulta sencilla su realización, pues para afinar en el diagnóstico es preciso seguir una sistemática y contar con una buena colaboración por parte del paciente. En la práctica clínica, pueden existir elementos que nos compliquen la evaluación, como podrían ser la concurrencia, previa o concomitante, de una lesión del sistema nervioso periférico, la existencia de dos LM de forma sistemática, estados de amputación o déficits motores previos secundarios a alguna otra patología del Sistema Nervioso Central (SNC). Tampoco hay que obviar que pacientes con estados de consciencia alterados, deterioros cognitivos profundos o niños de corta edad no proporcionarán una buena información para desarrollar la valoración.

### *1.2.5 Síndromes medulares*

Dentro de las LM se han detectado una serie de síndromes clínicos más o menos constantes que comparten características comunes que los diferencian del cuadro clásico de una LM. En ocasiones éstas se encuentran asociadas a una determinada etiología o a ciertos tipos de fracturas vertebrales. En un estudio epidemiológico se objetivó una frecuencia de estos síndromes del 21%, analizándose tanto LMT como no traumáticas (28). Las características exploratorias de los mismos resultan sencillas de comprender si se conoce la arquitectura interna de la médula. Estos llamados síndromes medulares son los siguientes (28-30).

- **Síndrome centromedular:** Se conoce también como síndrome de Schneider (31), si bien este epónimo se encuentra actualmente en desuso. El cuadro clínico típico

consiste en una mayor pérdida de la actividad motora de los miembros superiores en comparación con los inferiores, trastornos esfinterianos y grados variables de afectación sensitiva.

Este síndrome se produce cuando la lesión del parénquima se localiza en la zona central de la médula, en las inmediaciones del conducto central, pues debido a la ordenación característica de las neuronas y tractos en la médula, las zonas más centrales de la médula cervical están ocupadas por las neuronas correspondientes a los miembros superiores.

En los casos en que se produce una lesión centromedular a nivel de C8-T1 el síndrome se suele acompañar de una tríada clínica característica compuesta por ptosis, miosis y anhidrosis, conocida como síndrome de Horner(32, 33).

El síndrome centromedular ocurre de forma característica en la siringomielia, si bien la etiología más común es la traumática.

- **Síndrome de hemisección medular:** Se conoce también como síndrome de Brown-Séquard. Se trata de una lesión que afecta de forma predominante a una de las hemimédulas, con relativa integridad de la contralateral (34).

El cuadro clínico cursa con pérdida de la actividad motora del lado de la lesión, pérdida del tacto fino y propiocepción también en el hemicuerpo ipsilateral y por otro lado afectación termoalgésica contralateral, si bien en los dermatomas más próximos a la lesión puede existir un área de afectación ipsilateral.

Este síndrome se asocia habitualmente a lesiones traumáticas, si bien también puede producirse por otras etiologías.

- **Síndrome medular anterior:** Este síndrome se asocia casi siempre a una etiología

isquémica, secundaria a la trombosis o sección de la arteria espinal anterior, que es la responsable de la irrigación de los dos tercios anteriores de la médula. Habitualmente esta arteria es un tronco único, por lo que la LM suele ser bilateral, si bien es posible, aunque raro, encontrarse con formas unilaterales (35).

La clínica asociada comprende la alteración de las vías motoras y las correspondientes a la sensibilidad termoalgésica. Al estar indemnes las vías posteriores, las sensibilidades propioceptiva, vibratoria y epicrítica no se afectan.

Se trata de un síndrome que suele presentar una mortalidad elevada, cifrada en torno al 20% (36) No obstante, el hecho de que este síndrome suela afectar a pacientes con comorbilidades importantes puede influir de forma determinante en esta tendencia negativa.

- **Síndrome medular posterior:** En este caso se trata del síndrome asociado a la isquemia medular provocada por alteraciones en la circulación arterial espinal posterior. Este sistema está habitualmente formado por dos arterias, con lo que una afectación bilateral es poco frecuente a diferencia del síndrome medular anterior (35).

Estas arterias se encargan de la vascularización del tercio posterior medular, por lo que el daño afecta a los cordones posteriores, que contienen las vías de la sensibilidad propioceptiva, vibratoria y del tacto fino. No se apreciarán por lo general déficit motor o termoalgésico.

Debido a las características propias de la circulación posterior de la médula, resulta difícil que se produzca una trombosis, siendo más común que se desencadene a raíz de un traumatismo.

- **Síndrome de cono medular:** Son lesiones que afectan a la región más distal de la médula espinal, a la altura de las vértebras T12-L2 (29). La clínica afectará únicamente a nivel distal, implicando a los miembros inferiores y las regiones genital y perianal. Es importante remarcar que en esta zona se localizan los cuerpos de las neuronas del sistema nervioso parasimpático, por lo que la clínica derivada es distinta al de las lesiones ocurridas a niveles superiores (37). Por el nivel en el que suceden, la clínica, tanto a nivel sensitivo como motor, suele afectar a áreas poco extensas, afectándose los dermatomas y miotomas más bajos, pudiendo darse incluso el caso de que no exista ninguna repercusión motora salvo a nivel del esfínter anal.
- **Síndrome de cola de caballo (cauda equina):** En este síndrome el daño se produce a nivel de la cola de caballo, las raíces que abandonan la médula en dirección caudal en la zona del cono medular. Estrictamente no se trata de una LM, si bien suele recogerse con frecuencia bajo este epígrafe (38).

Se trata de una lesión de tipo periférico en la que la pérdida de fuerza se acompaña de flacidez, fasciculaciones e hiporreflexia. Asimismo, pueden verse afectadas todas las variantes de la sensibilidad así como el Sistema Nervioso Autónomo (SNA), existiendo con frecuencia una disfunción a nivel vesical y sexual, cuya clínica es diferente a la habitual en las LM (37). El grado y distribución de los síntomas es inconstante, pues el daño de los nervios no siempre es homogéneo, pudiendo objetivarse una afectación sensitiva y motora de forma parcheada.

Este síndrome puede ocurrir por tumores o por traumatismos vertebrales con lesión ósea por debajo de L2, si bien se han descrito casos de cauda equina con lesiones vertebrales localizadas en niveles superiores.

## 1.3 Atención médica en la LM aguda

La atención médica resulta primordial tras producirse una LM, y en algunos casos es indispensable para la supervivencia. Durante los primeros meses, y más marcadamente en las primeras semanas, tienen lugar una serie de procesos y cambios secundarios al daño nervioso que ponen en riesgo la supervivencia del individuo. Al mismo tiempo comienzan a desarrollarse los procesos reparativos propios de la fisiología humana al tiempo que el organismo se adapta de la forma que le es posible a las consecuencias directas de la lesión. Estos procesos pueden desembocar en algún grado de recuperación a nivel neurológico, y para aprovecharlos debemos tratar de actuar lo antes posible dando inicio a las terapias enfocadas a la rehabilitación. La capacidad de los equipos sanitarios para coordinar a un mismo tiempo los cuidados básicos, el control de las complicaciones y la rehabilitación supone un reto importante que precisa de unos conocimientos sólidos, un buen entendimiento del equipo multidisciplinar y un ambiente adecuado para desarrollar la atención sanitaria.

Como ya se ha dicho, las primeras horas son de vital importancia en lo que se refiere al pronóstico vital, dado que es durante el periodo agudo cuando existe un mayor riesgo de desarrollar complicaciones potencialmente mortales. Un porcentaje importante de los individuos con LM precisan tras el evento desencadenante recibir atención por parte de las Unidades de Cuidados Intensivos, siendo con frecuencia necesaria la monitorización continua y el uso de medidas invasivas de soporte (39). Los cuidados específicos en estos casos presentan particularidades que se deben conocer, motivo por el cual es necesario contar con profesionales bien formados y con experiencia en este tipo de situaciones (40).

Los expertos han demostrado por ejemplo la importancia de mantener unas cifras

tensionales adecuadas para evitar complicaciones vitales teniendo presente que un paciente con LM presenta un mayor riesgo de presentar hipotensiones debido a las alteraciones producidas a nivel del SNA. Las cifras ideales han sido puestas a debate en varias ocasiones, si bien la recomendación habitual suele ser evitar las presiones sistólicas inferiores a 90mmHg (41). Otros documentos de expertos, recomiendan asimismo asegurar una frecuencia de entre 60 y 100 lpm y un balance de orina superior a 30ml/h, así como monitorizar la temperatura para prevenir la aparición de fiebre, pues esta incrementa el gasto catabólico, empeorando el pronóstico (42). Recientemente, una guía multidisciplinar revisó la literatura existente estableciendo una recomendación de grado II de mantener la presión sistólica por encima de 110mmHg y una de grado III de mantener durante la primera semana una presión media superior a 70mmHg (43).

Otro aspecto a vigilar es la dinámica respiratoria, pues el pronóstico vital de los pacientes está muy determinado en gran parte por las complicaciones respiratorias, siendo la causa etiológica de la mayoría de éxitus agudos (44). Las vías neuronales de la musculatura respiratoria abarcan las metámeras desde C3 a T12, correspondiéndose los niveles C3-5 con el núcleo del diafragma, el principal músculo inspiratorio del organismo. Por este motivo, de forma general, la presencia de una LM a nivel superior a T12 conlleva la pérdida en algún grado de la capacidad inspiratoria y el descenso de todos los volúmenes respiratorios salvo el residual, que suele incrementarse, y las lesiones nivel C3 o superior precisan con frecuencia ventilación mecánica de forma crónica. Por debajo de este nivel la ventilación mecánica puede ser necesaria al menos en el momento agudo, si bien suele ser posible la retirada a medio o largo plazo. La traqueostomía es una buena opción en individuos que precisan ventilación invasiva durante espacios de tiempo prolongados, ya que ésta ofrece ventajas frente a la intubación, pues reduce el riesgo de complicaciones, disminuye el trabajo respiratoria y facilita el destete una vez se estabiliza la función

respiratoria (45). La elección de un tipo de ventilación dependerá de la evolución del paciente, pudiendo progresar desde la ventilación invasiva a la no invasiva cuando la situación se torne más favorable (46).

En el momento agudo ha probado su utilidad la fisioterapia respiratoria (47). Las técnicas más utilizadas son el palmeo o *clapping*, las vibraciones y el drenaje postural. En los casos en que existe algún grado de colaboración resultan de ayuda los incentivadores, la tos asistida y los ejercicios de entrenamiento de la musculatura respiratoria. Otros medios para mejorar la función respiratoria son los farmacológicos, como los mucolíticos y los broncodilatadores. En ocasiones es necesario emplear también técnicas intervencionistas como la broncoscopia para limpiar la vía aérea.

El riesgo de sufrir trombosis es elevado en los individuos con LM en todos los casos, debido a la inmovilización secundaria y al estado proinflamatorio que la propia lesión genera en su fase inicial. En general, está recomendado iniciar de forma precoz los métodos preventivos. Los consensos internacionales (48) recomiendan iniciar con los medios mecánicos tan pronto como sea posible e iniciar la administración heparina de bajo peso molecular de forma precoz siempre que el riesgo de sangrado lo permita, reevaluando de forma diaria la el riesgo de sangrado hasta que se pueda considerar seguro iniciarlo. No se recomienda en ningún caso mantener la anticoagulación durante menos de 8 semanas desde la lesión.

En los casos que cursan con fracturas o luxaciones vertebrales inestables, debemos valorar la posible inestabilidad de estas lesiones, que podría ser causa de un empeoramiento de la LM, y valorar la necesidad de realizar una intervención quirúrgica. La decisión habrá de tomarse valorando por supuesto el riesgo quirúrgico y anestésico en base a las características de cada paciente, pero por lo general se suele preferir realizar

la cirugía, pues acorta los tiempos de inmovilización permitiendo iniciar antes el tratamiento rehabilitador y reduce de forma importante el riesgo de trombosis venosa. En general, los protocolos y documentos de consenso tienden cada vez más a recomendar la realización de cirugías descompresivas lo antes posible. Ciertos grupos investigadores han recomendado realizar la intervención en lo posible en las primeras 8 horas tras la LM (49), si bien el grado de evidencia al respecto es aún bajo, mientras que otros consideran más indicado realizarla dentro de las primeras 24 horas (43). Aunque esta recomendación esté bastante generalizada hoy en día, se han publicado estudios que han comparado la evolución neurológica de individuos intervenidos y no intervenidos sin haber encontrado diferencias significativas (50).

### 1.4 Rehabilitación en la LM

El proceso de rehabilitación ha de iniciarse lo antes posible, pero siempre que el estado del paciente lo permita. Las recomendaciones establecen que los pacientes deben permanecer ingresados en plantas especializadas, a cargo de un equipo multidisciplinar liderado por la figura del médico rehabilitador (49). El trabajo de este equipo combina por un lado la vigilancia de la sintomatología derivada de la lesión y el control de las complicaciones tardías con la realización de las terapias necesarias para favorecer la recuperación tanto neurológica como funcional del individuo. Este proceso deberá iniciarse lo antes posible, objetivándose una mejor calidad de vida e independencia funcional en los individuos que inician este proceso de forma precoz (51). Las terapias que se pueden aplicar durante la fase de rehabilitación son múltiples, tratándose de un

proceso en constante cambio y donde cada año se desarrollan nuevos sistemas y dispositivos. La base del proceso de rehabilitación parte de la fisioterapia y la terapia ocupacional convencionales, si bien en los últimos años la robótica y otras técnicas como la realidad virtual se han ido ganando un puesto importante dentro de las unidades especializadas (52). La realización y el avance de estas terapias ha de adaptarse al estado del paciente, atendiendo siempre a su respuesta y evolución, así como a las complicaciones que puedan surgir durante la fase aguda. Los objetivos de tratamiento han de ser en lo posible consensuados de forma realista con el paciente, y adaptándose a la evolución clínica que presente. Estos objetivos se centrarán en primer lugar en propiciar la mejoría de su estado neurológico y en segundo lugar en mejorar su nivel de independencia, tratando de proporcionar a los individuos con LM una calidad de vida lo más alta posible (53).

En contra de creencias ya anticuadas, hoy se sabe que las células y tejidos del sistema nervioso central presentan cierto grado de capacidad regenerativa (54), y la médula no es una excepción, por lo que existen posibilidades de que se produzca una recuperación en las funciones medulares infralesionales (55). Múltiples teorías han tratado de explicar esta regeneración del tejido neurológico, las cuales son la base de ciertos tratamientos que se han intentado a lo largo de las décadas. No obstante, incluso a día de hoy no conocemos completamente la fisiología de este proceso. Las teorías más ampliamente aceptadas postulan que la preservación de las estructuras axonales son la base de la recuperación, adoptando las células remanentes funciones que suplan a las que han sufrido un daño irreversible. Así se asevera por ejemplo en un estudio de Fehlings, de 1995, realizado en modelos animales, donde llegaron a establecer que para que se produzca alguna recuperación de la función neurológica deben prevalecer al menos un 5-10% de los axones intactos (56).

La capacidad regenerativa no es constante, siendo mayor durante los primeros meses después de la lesión. La mayoría de trabajos y tratados concluyen que es durante los primeros 3 meses cuando se producen la mayoría de cambios, si bien podría proseguir en menor medida pasados 9 meses (57), y algunos autores alargan este período hasta los 12 o incluso 18 meses (58). Por este motivo, los ingresos en unidades especializadas se suelen prolongarse durante largos periodos de tiempo siempre que el paciente se encuentre en condiciones de colaborar y se pueda objetivar una evolución satisfactoria.

Un asunto polémico es la administración de fármacos que favorezcan la recuperación del individuo. Desde hace décadas se ha considerado beneficioso el tratamiento precoz con glucocorticoides. No obstante, en los últimos años existe ya una unanimidad científica respecto a su poca utilidad y el riesgo de sus efectos adversos, que supera con mucho a los beneficios (43, 49, 51). Por este motivo, todas las guías y documentos de consenso recomiendan no utilizarlos de forma generalizada, si bien en determinados casos como pacientes con empeoramiento de la clínica durante las primeras horas se podría valorar su administración.

En tiempos más recientes se ha sugerido el posible beneficio de administrar monosialotetrahexosylgangliosido (comercializado con el nombre de *Sygen*) (59), pero los grupos de trabajo tampoco recomiendan su uso actualmente (42, 60).

Otros tratamientos se han estado testando en los últimos años, habiéndose estudiado el efecto de fármacos neuroprotectores como el Riluzole, la G-CSF o el polietilenglicol; sustancias regeneradoras como los inhibidores de la Rho y los péptidos autoensamblados; y de forma especialmente insistente las terapias celulares. No obstante, aunque en algunos casos los estudios preliminares han sido prometedores, hasta la fecha no se han generalizado y será preciso continuar investigando (61).

## 1.5 Pronóstico neurológico de la LM

La mejoría que podemos esperar en una LMT, tanto a nivel de la exploración neurológica como de la funcionalidad y la calidad de vida, es un asunto difícilmente predecible sobre la que tan sólo podemos realizar estimaciones. Pese a ello, resulta importante tanto para los servicios sanitarios como para los individuos afectados y sus familias hacerse una idea acerca de las expectativas a medio y largo plazo, de cara a plantear de manera precoz las posibles necesidades a nivel de cuidados, la idoneidad del destino al alta o las adaptaciones que puedan necesitar en su domicilio. Si bien no nos resulta posible asegurar nada, sí existen ciertos datos que nos permiten estimar unos resultados a medio y largo plazo. Factores como una menor edad (62), la ausencia de historial de alcoholismo y la ausencia de comorbilidades (57, 58) se han asociado clásicamente a un mejor pronóstico, de la misma manera que ocurre en los casos de individuos con daño cerebral adquirido y otras enfermedades neurológicas. No obstante, los estudios al respecto son numerosos y merece la pena hacer una revisión de la literatura más reciente.

### 1.5.1 Grado de Lesión

En el caso de la LM, el grado de lesión, calculado en base a los datos extraídos de la exploración neurológica reglada según las normas de la ISNCSCI (21), es el factor conocido que ha demostrado un mayor valor pronóstico, ya sea valorando la información de forma global o bien centrándose en partes concretas de la misma, algo que diferentes grupos investigadores y acuerdos de consenso han coincidido (57, 63, 64, 65).

En un trabajo de Kaminski y *co/s.* ni la edad, ni el sexo, ni el nivel de lesión lograron demostrar un mayor valor predictivo frente al grado de lesión en lo referente a la evolución

de la funcionalidad valorada por medio de una de las escalas más utilizadas en individuos con LM, la Spinal Cord Index Measurement (SCIM) (66).

Recientemente, para una revisión de la literatura fueron calculados los porcentajes de mejoría del grado de lesión en individuos con LM en base a los resultados de varios trabajos. Si bien podría haber cierta disparidad entre los trabajos evaluados, resulta interesante observar los porcentajes De mejoría, que fueron los que siguen (50):

19.3% (95% CI 16.2–22.6) para los AIS A

73.8% (95% CI 69.0–78.4) para los AIS B

87.3% (95% CI 77.9–94.8) para los AIS C

46.5% (95% CI 38.2–54.9) para los AIS D.

De esta forma, la expectativa de recuperación es mayor en las lesiones incompletas, y dentro de ellas es superior en las incompletas motoras. Por el contrario, se considera especialmente desfavorable el pronóstico en los casos de lesión completa. Ciertos autores han observado que los cambios derivados de la plasticidad neuronal no se detectan apenas en lesiones completas, lo que justifica que apenas se produzca mejoría neurológica en estos casos (67). Recientemente un trabajo de Aimetti y *co/s.* en una población de lesionados con nivel torácico objetivó una frecuencia de pacientes con lesión completa que mejoraban su grado de lesión menor del 20% (68). Si bien es cierto que no es imposible que se produzcan cambios en los casos de lesiones grado AIS A, esta tiene mayor tendencia a ocurrir en las primeras semanas, lo que se refleja en las conclusiones de un trabajo de Kawano y *co/s.* En este caso los investigadores siguieron a más de 200 individuos durante el primer año de lesión observando que los casos de lesiones completas apenas presentaban mejoría fuera de las 8 primeras semanas de ingreso (69).

En el año 2021 fue publicada una revisión dirigida por Kirshblum en la que se repasaron los factores que influían en la recuperación neurológica de la LM, dedicando una parte mayoritaria del mismo a los factores derivados de la exploración física (70). Aparte de reforzar muchas de las observaciones ya reflejadas anteriormente, como el peor índice de recuperación en lesiones completas, destaca la detección de un menor porcentaje de mejoría entre las lesiones AIS D en comparación con los casos de AIS B y C. Esta anomalía se debe al efecto techo, un fenómeno que ya había sido citado por otros autores (63, 71) y que se justifica porque el único grado que mejora al AIS D es el grado E, que se traduce en recuperación total del déficit, algo que sucede en muy pocos casos, pues si bien la fuerza y la sensibilidad suelen mejorar no es frecuente que no quede ningún tipo de secuela.

Una conclusión a extraer de esta revisión es la importancia del momento en que se realiza la valoración del paciente. Si bien algunos de los artículos revisados sugieren que la exploración realizada dentro de las primeras 24h no es demasiado fiable los autores concluyen que los datos obtenidos en la exploración realizada entre 4 y 24h después de la lesión demuestran una buena correlación con el pronóstico neurológico en ausencia de otros factores de confusión.

### *1.5.2 Nivel de lesión*

En relación también con la exploración de la ISNCSCI, el nivel de lesión es otro posible marcador del pronóstico a tener en cuenta. Si bien evidentemente constituye un elemento de capital importancia al estimar la calidad de vida (72), los estudios, una vez más, no se ponen de acuerdo acerca de su influencia en la capacidad de recuperación neurológica y funcional. Por ejemplo, en el reciente trabajo de Richard-Denis y *co/s.* (73) no se hallaron

diferencias significativas en cuanto a evolución funcional (determinada mediante el SCIM) según el nivel de lesión. Al contrario que éste, otro trabajo de la misma época (50) realizó un análisis similar, en este caso evaluando la mejoría del grado AIS dentro de los diferentes niveles y grados, concluyendo en base a los datos que la posibilidad de presentar mejoría neurológica es diferente dependiendo del nivel en el que se produzca el daño, siendo máxima en los niveles lumbares, mínima en los torácicos e intermedia en cervicales, independientemente del grado de lesión. Esta misma observación se menciona en una revisión liderada por Kirshblum (70). Los investigadores postulan como posibles causas por una parte el hecho de que las lesiones de la médula torácica suelen ser secundarias a impactos de mayor energía, puesto que las características anatómicas de la región ofrecen una mayor protección en este segmento medular que en el resto. Por otra parte, teorizan que el mejor pronóstico entre las lesiones lumbares podría ser debido a que en esta región suelen afectarse las raíces de la cola de caballo y/o la segunda motoneurona, que presenta una mayor capacidad de regeneración en comparación con la primera motoneurona (74). Un importante artículo aparecido en 2020, analizando casos de LM a lo largo de 20 años, sí observó diferencias en el porcentaje de pacientes que pasaban de una lesión completa a incompleta dependiendo del nivel, apreciando una mayor posibilidad de pasar de lesión completa a incompleta en las tetraplejias que en las paraplejias (75).

### 1.5.3 Otros factores

Fuera de los datos extraídos de la exploración neurológica, durante las últimas décadas han sido propuestos diferentes factores que podrían influir en el pronóstico neurológico de la LM. Nos encontramos ante una serie de variables tanto socioeconómicas como

sociodemográficas. Sin embargo, estas afirmaciones se basen en su mayoría en observaciones extraídas de estudios pequeños, por lo que hasta el momento no están todavía generalizados en la práctica clínica habitual (76).

## **Edad**

Un importante estudio multicéntrico en el que participaron varios países europeos evaluó diferentes variables para valorar en qué medida se relacionaban con el pronóstico funcional, analizando la recuperación de la capacidad deambulatoria medido mediante las correspondientes secciones de la escala SCIM (77). En este análisis, los factores que pudieron demostrar una relación estadísticamente significativa fueron por un lado la edad, apreciando un mejor pronóstico en edades inferiores a los 65 años, y por el otro la fuerza de los músculos cuádriceps y gastrocnemios (correspondientes respectivamente a las raíces L3 y S1) y la preservación del tacto fino en los mismos dermatomas, elementos que forman parte de los protocolos de valoración neurológica reglada.

La edad es un condicionante cuya influencia en el pronóstico de la LM no está del todo clara. Ciertos trabajos han sugerido que no posee por sí misma un valor pronóstico en la LM, como por ejemplo el de Furlan (78), donde se valoró la mejoría funcional en base a la edad, mediante las escalas SCIM y FIM, o el de Abdul-Sattar (79), que analizó únicamente el valor de la escala FIM. En otro trabajo de la misma época con una muestra de 376 pacientes (80) se realizó un análisis univariante en el que no se apreciaron diferencias significativas en base a la edad de los individuos en cuanto al pronóstico neurológico, valorando los cambios en el grado AIS y el IM, pero sí se detectaron a nivel de la funcionalidad, evaluando en este caso la parte motora de la escala FIM. De forma opuesta a lo anterior, otros trabajos, incluyendo revisiones sistemáticas, sí objetivaron en sus análisis una mejor recuperación en los pacientes de menor edad (65, 76, 81).

Recientemente, una nueva revisión concluyó que la edad sí influye de forma importante en la recuperación funcional, pero en cambio no apreció una relación significativa con la mejoría neurológica valorada mediante los cambios del grado AIS y el IM (82). Este mismo fenómeno fue observado también en un estudio realizado en nuestra área sanitaria (83). No obstante, los rangos de edad de los diferentes trabajos publicados son muy variables y resulta difícil establecer comparaciones por este motivo. En fechas recientes se ha sugerido que quizás podrían objetivarse mayores diferencias si se bajase la edad de corte a cifras inferiores, mencionando en concreto los 50 años en lugar de los 60 o 65 utilizados como corte de forma habitual (84).

### **Sexo**

El sexo constituye otro posible factor determinante del pronóstico que ha sido sometido a valoración en repetidas ocasiones. Varios autores han sugerido que podría existir una mejor recuperación en el sexo femenino basándose en el papel beneficioso de las hormonas sexuales femeninas en la modulación de la respuesta inmune y la neuroprotección (85). Si bien algunos trabajos han apoyado esta teoría (86), la mayoría de ellos no han logrado demostrar con una buena evidencia la relación entre el sexo y el pronóstico neurológico (87), como tampoco ha ocurrido con lo que respecta a las complicaciones y cuidados necesarios durante el periodo de ingreso (88).

### ***Diferencias étnicas***

Las diferencias raciales y étnicas son otros factores que también han sido analizado por diferentes investigadores, apreciándose en algunos trabajos diferencias en cuanto al pronóstico (89, 90). No obstante, en nuestra área sanitaria no existe una gran variabilidad étnica, siendo el porcentaje de población extranjera en Galicia en 2019 de sólo el 3,74% (91), por lo que no se considera un factor que sea importante tener en cuenta.

## ***Mecanismo de lesión***

Otros autores han teorizado sobre las posibles diferencias en la evolución neurológica dependiendo del mecanismo que ha originado la lesión traumática. Sin embargo, la opinión general (64), respaldada por estudios (92), es que esta discrepancia no sería debida al mecanismo en sí sino a que en determinadas etiologías se produce una mayor liberación de energía cinética o potencial, lo que justificaría la aparición de lesiones de mayor grado o de diferentes niveles de lesión, siendo estos factores, y no el propio mecanismo de lesión, lo que repercute en el pronóstico. En esta línea de pensamiento se encuentran McCarthy y *cols.*, quienes en su estudio no hallaron diferencias significativas en cuanto al pronóstico, ajustado según el grado de lesión, entre los traumatismos de alta y baja energía, si bien en este caso la muestra analizada era pequeña (93). Los propios autores del trabajo aclaran además que la categorización de las lesiones en alta/baja energía resulta un tanto arbitraria, y en su caso, por ejemplo, valoraron como alta energía únicamente los accidentes de tráfico, no incluyendo las caídas de altura, que en otros trabajos sí se enmarcan dentro de dicha categoría.

## ***Lesiones asociadas***

Las lesiones concomitantes podrían ejercer también una influencia en la evolución tanto neurológica como funcional de una LM traumática. Se podría plantear que en los casos de individuos que presentan daño medular en el contexto de un politraumatismo estas lesiones concomitantes influyesen directamente en el pronóstico. Sin embargo, se han publicado trabajos que han puesto esto en tela de juicio, como el de Putz y *cols.* (94), si bien este equipo valoró la evolución sólo mediante la escala SCIM; o más recientemente el liderado por Scivoletto, con una muestra mayor y realizando una valoración de la evolución tanto a nivel neurológico como funcional (95). En ambos casos no se pudieron

evidenciar diferencias en la evolución aguda de la LM en función de la presencia de lesiones concomitantes, aunque sí se apreciaron diferencias respecto a otros aspectos como la duración del ingreso o la exploración neurológica inicial. En otro trabajo de la misma época se valoró la evolución atendiendo sólo a la presencia o no de TCE, evidenciando en este caso una peor evolución de la parte motora de la escala FIM en los individuos con TCE (96).

### ***Realización de cirugía***

Varios han sido los trabajos publicados acerca del pronóstico de la LM y la influencia en el mismo de la realización o no de cirugía descompresiva, así como los tiempos de la misma. Un autor que ha publicado varios trabajos al respecto es Aarabi. En su artículo de 2020 (97) analizó una muestra de 72 individuos con tetraplejia y su evolución en función de las horas transcurridas desde la LM hasta la cirugía. En este caso, no halló datos de que el tiempo hasta la cirugía influya en el pronóstico, pero sí observó una correlación significativa entre el pronóstico neurológico y la longitud de la lesión parenquimatosa. En este mismo artículo se realizó también una revisión de la bibliografía demostrando en los artículos recogidos disparidad de resultados, y es posible que varios factores de confusión como el grado de lesión puedan haber influido en los resultados de dichos trabajos. De forma aún más reciente ha salido a la luz un nuevo trabajo, en este caso sobre una base mucho más amplia de pacientes, en donde sí se observaron cambios en la evolución de los individuos con LM en función de los tiempos de realización de la cirugía, valorando los datos del IM y los índices sensitivos(98). Esta publicación demostró una diferencia alrededor de 4 puntos superior en los índices de los individuos en los que se realizó una cirugía descompresiva precoz, considerando como tal aquella realizada menos de 24h después de la lesión.

## 1.6 Técnicas de imagen en la LM

La exploración física realizada según los estándares de la ISNCSCI constituye, como ya se ha explicado, la forma más segura de diagnosticar una LM y clasificarla por nivel y grado de lesión. No obstante, esto no implica que las técnicas de imagen no tengan una gran importancia en el estudio de las lesiones a nivel medular y vertebral. Su función no se limita únicamente al apoyo del diagnóstico, sino que son clave en la valoración de casos dudosos y en las situaciones en las que el individuo lesionado no tenga una buena capacidad de colaboración. Por supuesto, también tienen una función clave en el estudio de las posibles lesiones concomitantes y la planificación del tratamiento quirúrgico.

En el caso de las lesiones traumáticas, las pruebas de imagen son el único medio del que disponemos para valorar la existencia de lesiones asociadas, las cuales pueden suponer un riesgo importante para la supervivencia del paciente. Es preciso remarcar que las LMT son con frecuencia secundarias a traumatismos de alta intensidad, por lo que debemos abordarlos desde una perspectiva holística durante la fase aguda hasta poder descartar con razonable seguridad la existencia de cualquier tipo de daño visceral que pueda suponer una amenaza para su supervivencia. Por este motivo, una correcta exploración física global resulta imprescindible desde el primer momento en la medida que el individuo lo permita. Tras esta valoración inicial se valorará la indicación de las pruebas de imagen, debiendo realizarse las seleccionadas lo antes posible. En los instantes iniciales se dará preferencia a los estudios que requieran de menos tiempo y menos movilización del individuo lesionado debido al riesgo de inestabilidad, posponiendo en ocasiones aquellos estudios que precisen de un mayor tiempo incluso aunque estos pudieran ofrecernos mayor información (99).

Actualmente, la gran mayoría de centros hospitalarios cuentan con un amplio catálogo de

pruebas de imagen que permiten la valoración del raquis y el contenido intrarraquídeo, presentando cada una de ellas sus ventajas e inconvenientes.

### 1.6.1 Radiografía (RX)

La radiografía simple tiene aplicaciones diagnósticas en diferentes sistemas corporales. En el caso de la LM, su utilidad radica sobre todo en su capacidad para estudiar el componente óseo, permitiendo objetivar alteraciones de la alineación, fracturas y luxaciones de las vértebras; motivo por el cual tiene enorme utilidad para realizar controles de reducción de luxaciones vertebrales en fase aguda y para la valoración de instrumentaciones quirúrgicas (Figura 1). En los casos en que se dispone de equipos con muy buena definición, es posible incluso intuir, aunque no de forma fiable, la presencia de herniaciones discales, pero en ningún caso la RX permite visualizar el contenido del canal medular, a excepción de algún caso concreto en que un elemento externo se haya alojado en su interior, como podría ser un fragmento óseo procedente de una fractura o una pieza metálica en los casos de heridas por arma de fuego.

La principal ventaja de la RX radica en su rapidez, precisando de sólo unos segundos para su realización. Asimismo, están ampliamente implantados los aparatos portátiles de RX, que permiten realizar estudios sin necesidad de desplazar al paciente, lo que posibilita la toma de imágenes incluso dentro de las unidades de críticos sin que sea necesario detener la monitorización y minimizando la necesidad de traslados, lo que reduce la posibilidad de complicaciones.

Como inconvenientes de esta prueba de imagen tenemos en primer lugar su limitada capacidad para valorar el componente visceral, no siendo posible como ya se ha dicho la

valoración del parénquima medular. Además de esto, su funcionamiento se basa en la utilización de radiaciones ionizantes, las cuales implican riesgos para la salud de los pacientes, si bien en este caso las dosis recibidas son bajas. No obstante, es recomendable valorar siempre el riesgo-beneficio antes de solicitar este estudio, limitando su realización a situaciones en que se espere obtener un beneficio claro. Es importante remarcar que se recomienda extremar la precaución durante el embarazo debido a los posibles riesgos sobre el feto. Siempre se recomienda descartar la posibilidad de embarazo antes de solicitar la realización de estudios que empleen radiaciones ionizantes.



**Figura 1. Imagen de RX. Instrumentación cervical C3-5**

### 1.6.2 Tomografía computarizada (TC)

Al igual que en la RX el tejido óseo se observa con muy buena definición en la TC, proporcionándonos información muy útil acerca del estado del componente óseo. Si bien inicialmente estos estudios capturaban únicamente las imágenes del eje axial, actualmente los programas hacen posible realizar reconstrucciones en los demás ejes del espacio (Figura 2), permitiendo incluso componer imágenes tridimensionales. Estas funciones resultan de gran ayuda a la hora de valorar fracturas y planificar tratamientos quirúrgicos.

A diferencia de la RX, la TC nos permite caracterizar con más detalle los tejidos blandos. De esta forma, es posible realizar una mejor valoración de patologías pulmonares y hepáticas. Una gran aportación de la TC es la posibilidad de diferenciar los diferentes tejidos del SNC, hecho que le otorga una importante función diagnóstica a nivel cerebral, pues hace posible la detección de alteraciones de señal relacionadas con enfermedades cerebrovasculares como los ictus. A nivel medular, sin embargo, esta capacidad es mucho más limitada debido al pequeño tamaño de esta estructura. Mención aparte merece la buena sensibilidad de la TC para detectar sangrados, especialmente en durante la fase aguda de la misma, y también resulta de ayuda para el estudio de otro tipo de lesiones como tumores y abscesos.

En cuanto a los inconvenientes de la TC, la dosis de radiación a la que son expuestos los pacientes es elevada (muy superior a la de una RX simple), por lo que se ha de ser muy cauto con la indicación de pruebas de forma reiterativa. Además de esto, los aparatos que se utilizan habitualmente son voluminosos y en su mayoría no móviles, con lo que es necesario trasladar al individuo hasta salas especialmente preparadas, lo que supone en los casos de los pacientes inestables y bajo monitorización un importante

problema logístico. Recientemente se han comenzado a comercializar aparatos de TC portátiles, si bien a fecha actual todavía es poco frecuente encontrarlos. Asimismo, aún disponiendo de los mismos, no es posible utilizarlos en cualquier lugar debido a la alta emisión de radiaciones ionizantes.



**Figura 2. Fractura-luxación de C4 en estudio de TC (reconstrucción sagital)**

### 1.6.3 Resonancia magnética (RM)

La aparición de la RM supuso una gran revolución en el estudio de la LM por tratarse de la primera prueba de imagen que permitía estudiar de forma detallada el parénquima del SNC, incluyendo en este caso el cordón medular, así como el tejido de muchos otros tejidos del organismo. Desarrollados también en la década de los 70, estos dispositivos no basan su funcionamiento en las radiaciones ionizantes sino en la aplicación de campos magnéticos, y por lo tanto no implica la exposición de los pacientes a las mismas, con la consecuente disminución de los riesgos. No obstante, por seguridad todavía se recomienda evitar su uso en la medida de lo posible en mujeres embarazadas.

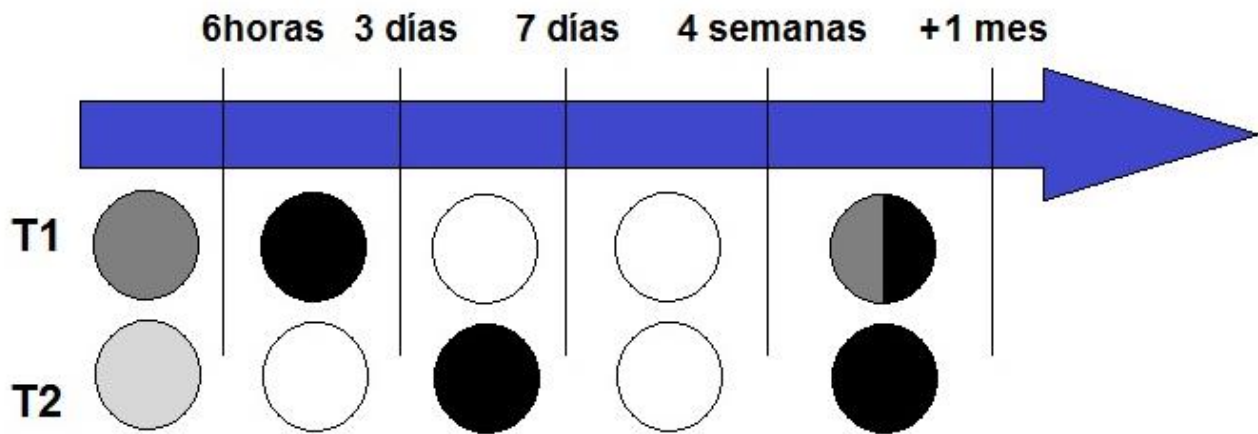
Dependiendo de la intensidad de los diferentes pulsos magnéticos que el operador selecciona se pueden realzar o acentuar determinados tejidos obteniendo de esta forma diferentes tipos de imágenes, los cuales reciben el nombre de secuencia (100). Las secuencias más utilizadas, tanto a nivel general como centrándose en el estudio de la médula espinal, son T1 y T2 (Figura 3). Ambos términos hacen referencia a ciertos factores intrínsecos de la imagen escogidos en su día por consenso.

La RM no solo hace posible la valoración del daño tisular, sino que nos permite también analizar la estructura del tejido indemne. En el caso del SNC, en individuos sanos, la imagen de RM permite distinguir la sustancia gris, que se muestra relativamente hipointensa en T1 e hiperintensa en T2, del componente axonal que forma la sustancia blanca, que en T1 se aprecia más hiperintensa.



**Figura 3: Fractura luxación de L1 con LM asociada, imagen en T2**

Respecto al resto de tejidos, la grasa se observa hiperintensa en T1y no en T2 (salvo en las secuencias rápidas), si bien a día de hoy se han desarrollado secuencias específicas con supresión de grasa en los que la veremos completamente hipointensa, como es el caso de las secuencias STIR, SPIR o la técnica de Dixon. En lo que respecta a la sangre, su señal será diferente dependiendo del estado del componente férrico, que a su vez varía dependiendo del tiempo de evolución del sangrado, de la forma en que se muestra en el Gráfico 2 Para su estudio resultan especialmente útiles las secuencias de eco de gradiente.



**Gráfico 2: Características de la señal de la sangre en la RM según el estadio evolutivo**

No existen diferencias llamativas en el resto de tejidos al comparar las secuencias T1 y T2. El tejido óseo aparece con una señal discretamente hiperintensa, mientras que otros componentes de la columna vertebral, como los discos y ligamentos, presentan una coloración más hipointensa, aunque en el caso de los discos suelen contener una zona central de mayor intensidad en T2 que se corresponde con el núcleo acuoso, que contiene un alto porcentaje de líquido.

Durante las dos últimas décadas se han producido grandes avances en los aparatos de RM, habiéndose añadido nuevas secuencias y funciones que han incrementado de forma importante la sensibilidad diagnóstica (101). Una de estas nuevas funciones, que ha resultado de gran ayuda en el estudio del SNC son las técnicas de RM funcionales. Estas secuencias basan su funcionamiento en la medición de la actividad fisiológica de las estructuras analizadas (102). Un ejemplo de los más destacados es la RM de difusión, conocida por las siglas en inglés *Diffusion Weighted Image* (DWI). En estas secuencias se obtienen imágenes en las que se mensura la difusión del agua entre los diferentes tejidos, fenómeno que depende fundamentalmente de los gradientes de presión, la permeabilidad

de las membranas y el transporte activo que se pueda producir. De esta forma, una imagen hiperintensa en secuencias de DWI denotan una disminución en la difusión del agua, lo que orienta a la presencia de un elemento que pueda restringir el paso del líquido como por ejemplo un sangrado agudo-subagudo o un tumor (103, 104).

El análisis de cada unidad mínima de representación de las imágenes (vóxel) se conoce como imagen de tensor de difusión, en inglés *Diffusion Tensor Image* (DTI). Éste utiliza datos derivados de DWI en múltiples direcciones para calcular un tensor de difusión, una medida rotacionalmente invariante tanto de la velocidad como de la dirección de la difusión del agua (105). Estas pruebas tienen diferentes aplicaciones que permiten potenciar parámetros concretos, siendo la más ampliamente utilizada el Coeficiente de Difusión Aparente (ADC) (106), si bien también se recurre en la práctica habitual a otras como la anisotropía fraccional, la anisotropía relativa y el ratio de volumen (104). La ADC se utiliza entre otras cosas para la diferenciación del edema citotóxico y el vasogénico, y asimismo permite también detectar de forma precoz la formación de cavidades quísticas, que se corresponden con ADC bajos (107).

Aplicado a la médula, en condiciones normales el gradiente de agua en la sustancia blanca sigue siempre la dirección de las fibras, pero en los casos de lesión este movimiento pasa a seguir también otras direcciones, un fenómeno que es captado mediante esta técnica revelando así la existencia de un daño (108). Aprovechando los datos extraídos de estos estudios, los programas de visualización permiten crear tractografías, que son reconstrucciones de los trayectos seguidos por los tractos nerviosos que nos permiten estudiar su preservación y la dirección de sus cicatrices cuando se producen (109).

Todavía existe poca evidencia con respecto a la utilidad de las imágenes de difusión en el

estudio de las enfermedades del SNC que, pero de entre todas ellas es la DTI la que mayor respaldo presenta en los estudios científicos (110). Los investigadores consideran que todavía son precisos estudios más amplios, pero resultan una opción muy útil para complementar habitual el estudio de una LM (111).

Existen otras secuencias de RM funcional que sería interesante al menos mencionar. Una de ellas es la denominada BOLD (Blood Oxygen Level Detection), que como su propio nombre indica detecta las variaciones en el consumo tisular de oxígeno. La RM de perfusión es una secuencia que valora el estado la microcirculación a nivel cerebral. La espectroscopia, por su parte, cuantifica la presencia de ciertos componentes químicos (metabolitos), obteniendo de esta forma una tabla de frecuencias que permite realizar comparaciones con unas tablas predeterminadas consideradas normales en la que se pueden detectar anormalidades que traduzcan alguna patología.

Gracias a las pruebas funcionales es posible objetivar cambios microestructurales como la degeneración axonal, la pérdida de mielina y los acúmulos de hierro característicos de algunas patologías concretas (112). De esta forma, se pueden detectar lesiones en el tejido medular incluso en las fase hiperaguda (113). Algunos trabajos consideran que estas pruebas podrían ser más sensible que las proyecciones mayoritariamente utilizadas en los casos de daño medular secundario a patología degenerativa (114, 115).

Pese a la gran relevancia que estos estudios han tenido en la práctica clínica habitual, incluyendo el estudio del encéfalo (113), en lo tocante al estudio de la LM existen problemas derivados del pequeño tamaño de la médula. Además, en la fase aguda existen muchos artefactos derivados de la presencia de edema citotóxico.

Por todo esto, la RM destaca como una prueba clave en el estudio de la LM, independientemente de su etiología. Su gran ventaja reside en su capacidad para estudiar

tanto la columna como los contenidos del canal medular. La sensibilidad para la detección de los daños de las diferentes estructuras ha sido calculada en estudios como el de Goradia y cols. (116), siendo del 93% en la patología discal, del 100% en ligamentos interespinosos y del 93% en el ligamento longitudinal posterior, mientras que la sensibilidad era más baja en el caso del ligamento longitudinal anterior y los ligamentos amarillos, donde las cifras eran del 71% y el 67% respectivamente. La sensibilidad en la detección de la patología ósea resulta en cambio peor si se la compara con la TC (117).

Como principales problemas de esta técnica, la obtención de imágenes resulta más lenta, precisándose entre quince minutos y media hora para completar un estudio estándar, lo que complica el manejo de los pacientes en situación inestable. Además de esto, el paciente debe permanecer en todo momento inmóvil, motivo por el cual algunos pacientes que presentan claustrofobia sufren grandes dificultades durante la toma de imágenes, siendo preciso con frecuencia el uso de sedación. Lo mismo ocurre con los pacientes pediátricos.

Debido al uso de campos magnéticos, no se podrá realizar una RM a individuos con implantes de prótesis o dispositivos metálicos sin antes asegurarse de que sean compatibles. En los casos en los que exista una instrumentación metálica, ésta provocará artefactos ferromagnéticos que limitarán de forma importante la valoración de las estructuras subyacentes, algo que nos encontraremos con frecuencia entre los afectados por LMT (Figura 4). No obstante, para minimizar este fenómeno se han desarrollado mecanismos que minimizan al menos esta interferencia, como los métodos de “tilting” o la inclinación del plano o secuencias como la SEMAC (Slice Encoding for Metal Artefact Correction) (118).

Una última desventaja reside en la cuestión económica, puesto que los costes, tanto de

los aparatos como de la obtención de la imagen, son más elevados que en las pruebas anteriormente citadas, y no todos los centros cuentan con RM, si bien cualquier hospital de primer nivel dispone a día de hoy de estos dispositivos.



**Figura 4:** Artefactos ferromagnéticos por instrumentación vertebral en un estudio de RM

### *1.6.4 Otras técnicas*

Otros estudios de imagen pueden ser utilizados puntualmente en el estudio del individuo con lesión medular, como las técnicas de medicina nuclear, si bien la indicación principal de estas técnicas es el estudio y localización de tumores e infecciones en los casos en los que las demás pruebas de imagen no son suficientemente sensibles. No obstante, ha sido

reconocida también la utilidad de estas pruebas para el despistaje de posibles lesiones óseas, resultando especialmente útiles en la detección de microfracturas y fracturas de estrés que puedan pasar desapercibidas en RX simple (119).

A nivel de la LM, estas técnicas se utilizan sobre todo en el estudio de aquellas lesiones de etiología médica en las que otras pruebas de imagen no arrojan resultados concluyentes. No obstante, las técnicas de medicina nuclear han demostrado también una buena capacidad para detectar daños en el parénquima medular incluso en los momentos más agudos tras una LMT (113). Sin embargo, la complejidad de estos estudios los hace poco rentables en comparación con otras pruebas que poseen también una buena sensibilidad, como podría la RM.

## 1.7 Aplicación de técnicas de imagen en la LMT

Obviando a partir de este punto el estudio de la LM de causa no traumática, que por tener diferentes etiologías precisará de diferentes estudios de imagen en función de la sospecha diagnóstica, nos centraremos en este punto en el uso de técnicas de imagen en los pacientes con LMT.

Ante la llegada al centro hospitalario de un paciente con clínica compatible con LM e historia reciente de traumatismo, los protocolos de actuación pasan en primer lugar por proporcionar los cuidados necesarios para mantener al paciente con vida, asegurando como en cualquier otro caso la vía aérea, la oxigenación y la correcta circulación sanguínea. Una vez garantizado el adecuado soporte vital, se tratará de completar lo antes posible una primera valoración neurológica, realizando la exploración física

recomendadas por los ISNCSCI en la medida que el estado del individuo lo permita. Una vez completada la valoración inicial y confirmada la sospecha de un daño medular, el siguiente paso es someter al individuo lesionado a estudios de imagen, decidiendo en función de la situación cuál o cuáles de las pruebas disponibles son las más adecuadas.

En la mayor parte de los casos la RX es la opción inicial, debido a la rapidez de adquisición de imágenes y a la posibilidad de desplazar los equipos al lugar donde el paciente se encuentra, evitando los riesgos que implica una movilización. La RX nos otorga la posibilidad de tomar imágenes a diferentes niveles y en diferentes planos y proyecciones sin cambiar la posición del individuo a estudio. Estos primeros estudios permiten estudiar la estructura de la columna en busca de lesiones óseas que puedan justificar la potencial LMT. Determinar la existencia de estas lesiones es un primer paso necesario, no solo por la importancia de extremar el cuidado ante las movilizaciones (puesto que esto resulta imprescindible en el momento agudo incluso en los individuos sin lesión vertebral), sino también para orientar la solicitud de las siguientes pruebas de imagen. Asimismo, de forma dirigida o por hallazgo incidental, la RX nos da la posibilidad de detectar lesiones en otras áreas el sistema esquelético o incluso, aunque de forma menos sensible, lesiones viscerales concurrentes. Es preciso tener en cuenta que la ausencia de fractura o luxación no permite en absoluto descartar el daño medular, pudiendo existir casos de LM sin lesión ósea, fenómeno que se denomina por sus siglas en inglés Spinal Cord Injury Without Radiographic Abnormality (SCIWORA) (120). Estas lesiones se encuentran con mayor frecuencia en población pediátrica debido a la mayor elasticidad del sistema osteoligamentoso vertebral existente en esta etapa del desarrollo (121).

La TC es una buena opción de cara a valorar el componente óseo con mayor precisión

que la RX (122). Si bien no es su cometido, y la sensibilidad no es demasiado buena, una TC permite visualizar también el disco intervertebral, lo que puede ser de ayuda de cara a descartar daño derivado de compresión herniaria. Los comités de expertos recomiendan actualmente someter a todos los pacientes con LMT a un estudio radiológico de toda la columna, debido a que la incidencia de fracturas vertebrales múltiples es próxima al 20%. Por esta mayor sensibilidad, la tendencia actual se enfoca hacia la realización de TC multicorte con reconstrucción sagital y coronal, como recomienda el panel de expertos del American College of Radiology, especialmente en lesiones de la columna cervical (123).

En los casos en que se sospecha la existencia de una lesión concomitante a nivel craneal, torácico o abdominal se recomienda también someter al individuo lesionado una TC lo antes posible, pues esta prueba permite analizar el componente visceral contando con una buena sensibilidad para la detección de sangrados, algo que en la RX no resulta posible. Asimismo, de cara a la planificación de una intervención quirúrgica sobre la columna resulta de gran utilidad contar con un estudio de TC ya que proporciona buena información acerca de las lesiones de las estructuras perivertebrales y el estado tridimensional del hueso.

Un posible problema ante el que nos encontramos con la TC es que requiere de más tiempo para su realización (aunque no demasiado), y del traslado del paciente hasta una sala especialmente preparada para tal cometido, lo que en situaciones de gran inestabilidad supone un riesgo de complicaciones potencialmente letales. Por este motivo, en ocasiones este estudio ha de posponerse a la espera de una mayor estabilidad en el paciente.

A corto y medio plazo, cualquiera de los estudios de imagen basados en la radiación ionizante resulta de gran ayuda para el control de las luxaciones vertebrales, permitiendo

evaluar el estado y comprobar si se ha producido una reducción mecánica. También resultan útiles en el control postquirúrgico de la instrumentación vertebral. Debido al riesgo derivado de la exposición a la radiación, los controles se realizarán en lo posible utilizando la RX, reservando la TC para casos en que se considere imprescindible.

Pese a la utilidad innegable de dichas pruebas, la única técnica de imagen que permite valorar de forma directa el parénquima medular, así como los ligamentos y discos vertebrales es la RM (124), la cual es considerada como prueba *gold standard* en la LMT (125, 126). La RM urgente está indicada en los casos de LMT en la que los déficits neurológicos no se pueden justificar por los hallazgos radiológicos de otras pruebas, y también cuando se objetiva un deterioro neurológico que puede deberse a la presencia de un hematoma epidural u otra causa que pueda ser subsidiaria de tratamiento quirúrgico urgente. También se ha sugerido la realización de RM después de una cirugía descompresiva para evaluar el resultado de la misma (127). A día de hoy se recomienda la realización de esta prueba en todos los pacientes con LMT (128), siempre que no exista ninguna de las contraindicaciones descritas y su estado vital lo permita. Según las Guías de práctica clínica de la AOSPINE se debe realizar una RM en fase aguda no solo para apoyar el diagnóstico, sino también para facilitar la toma de decisiones clínicas y valorar el pronóstico neurológico (129).

Es preciso aclarar que existen casos en que, existiendo pruebas exploratorias de una LMT, las pruebas de imagen no logran identificar las lesiones. Este hecho no implica la no existencia de LM, pues como ya se ha explicado, en el diagnóstico de la LM lo que prima es la exploración física. Este fenómeno ha sido descrito en trabajos especializados y se define habitualmente por sus siglas en inglés Spinal Cord Injury Without Neuroimaging Abnormality (SCIWNA) (130).

La elección de las secuencias de RM que se deberían utilizar, así como los plazos de tiempo más idóneas son asuntos que aún a día de hoy son motivo de debate, habiéndose publicado en los últimos años varios artículos que tratan de llegar a un consenso entre expertos (104, 112, 113, 126, 131). Debido a su grado de implantación actual y la información que proporcionan, casi todos los expertos recomiendan combinar las secuencias en T1 y T2, puesto que éstas ofrecen buena información sobre el parénquima medular a nivel macroestructural, con la RM cuantitativa, que aporta información acerca del daño microestructural. En el primer caso, las secuencias habituales suelen ser suficientes para detectar en el momento agudo tanto el edema como el sangrado a nivel medular (132), permitiendo su valoración en los dos planos que se suelen utilizar, el axial y el sagital. En determinados casos, se podrían añadir secuencias con supresión de ciertos tejidos susceptibles de confusión, como el STIR (133), la más útil para diferenciar el edema del líquido normal (134). También pueden añadirse la secuencia de eco de gradiente en T2, que son más sensibles a la señal ferromagnética gracias a la modificación de la angulación del espín, mejorando de esta forma la sensibilidad en la detección de hemorragias de pequeño tamaño en el lecho lesional.

En la guía redactada por Seif y *cols.* (131) se recomienda la realización en el momento agudo de al menos las secuencias siguientes: secuencia potenciada en T1 sagital y secuencias potenciadas en T2 sagital y axial del área vertebral lesionada y eco de gradiente en T2 sagital y axial de la zona lesionada. En casos en que exista instrumentación vertebral, será necesario en lo posible añadir técnicas correctoras (104).

En un acuerdo reciente de la Sociedad Francesa de Neurología se recomendó de forma generalizada la utilización de las clásicas técnicas en T1 y T2, si bien consideran que se debería al menos valorar solicitar otros estudios avanzados, como podrían ser la RM de

difusión, la DTI, secuencias vasculares dinámicas, secuencias de perfusión, espectroscopia y RM funcionales (135).

Las secuencias cuantitativas pueden ser empleadas para tratar de detectar cambios en la microestructura celular, evaluando valores cuantificables como la densidad de mielina, los depósitos de hierro o la densidad axonal en un determinado punto. Estas técnicas han demostrado mejorar la valoración y el valor pronóstico de la RM, pero todavía no se han implementado de forma generalizada. No obstante, Freund y *co/s.* en su artículo de 2019 dan la recomendación de añadir en la medida de lo posible estos estudios tanto en la práctica clínica habitual como en la investigación, incluyendo secuencias de difusión y de mapeo multiparamétrico (112).

Las pruebas funcionales ofrecen la posibilidad de valorar en vivo el metabolismo celular, y la espectroscopia la bioquímica y, si bien han sido valorados por comités de expertos que han reconocido su utilidad, no se utilizan de forma habitual a día de hoy en el estudio de la LMT (126). Su gran ventaja reside en la rapidez con la que detectan cambios, ya incluso en los primeros minutos tras la lesión. En el momento hiperagudo, los cambios más incipientes que podemos encontrar con estas pruebas son el aumento de la permeabilidad de membrana en la RM de difusión y la disminución de N-acetil aspartato en la espectroscopia (113). No obstante, es muy infrecuente que el paciente sea recibido en un servicio de urgencias en un momento tan precoz como para que los datos de lesión sólo se puedan apreciar con estas técnicas, pues en apenas 4 horas es posible observar ya las primeras señales de lesión en las secuencias en T2.

Trabajos recientes han analizado la capacidad de mensurar las hemorragias intraparenquimatosas y llaman la atención sobre la escasa precisión de los métodos utilizados habitualmente, recomendando tratar de buscar nuevos protocolos y el apoyo de

técnicas como la ecografía para ayudar a mejorar las valoraciones (136).

En periodos más tardíos, ya en la fase crónica de la LM, las secuencias convencionales, fundamentalmente T2, permiten valorar a nivel de la lesión la variación de tamaño del edema en la zona de lesión. Tras el primer mes, los tejidos parenquimatosos sufren una remodelación produciéndose la aparición de cavidades quísticas en la zona lesionada (137). Alrededor de los quistes existen zonas de tejido medular sano que reciben el nombre de puentes tisulares, que pueden apreciarse incluso en las primeras 3 semanas tras el traumatismo desencadenante. Trabajos especializados han demostrado que el tamaño de estos puentes podría relacionarse con la recuperación neurológica, motivo por el que se recomienda realizar estos estudios de RM de control y efectuar mediciones sobre los mismos (138).

A nivel tanto rostral como caudal es posible valorar también el grado de atrofia medular. En todas las LM se produce una atrofia medular (139) que afecta no solo al nivel de la lesión, sino también a nivel rostral y caudal, alcanzando incluso al encéfalo, conociéndose este efecto a nivel de las vías tronculares y el córtex cerebral y cerebeloso (112). Esta atrofia en el eje axial ha sido analizada también por varios equipos, cuantificándose un grado medio de atrofia de alrededor del 30% en los primeros años (140) y habiéndose relacionado el grado de atrofia a los 6 meses con el pronóstico neurológico a medio-largo plazo (141). La atrofia afecta tanto a la sustancia gris como a la blanca, incluso a niveles muy lejanos al punto de lesión (142), y estos cambios se han observado tanto en LMT como en LM de etiología médica (141). Para la valoración de esta atrofia resulta de gran ayuda realizar una RM empleando además de la secuencia T2 axial, secuencias en 3D como la Sagital T1 Magnetization Prepared - Rapid Gradient Echo.

Otro asunto que entraña cierta discusión respecto a la valoración de la LMT mediante RM

es el momento idóneo para realizar la prueba. Ciertos estudios indican que en el momento más agudo, las primeras 24 horas, pueden pasarse por alto elementos como la presencia de sangrados intramedulares que, en cambio, sí serían visibles al realizar el estudio 24-48 horas más tarde (143). Otros trabajos señalan que en los casos en que existe edema, la longitud del mismo puede incrementarse en al menos 1 nivel durante las primeras 24 horas, pudiendo incluso continuar aumentando en fechas posteriores, hasta pasados 5 días (144). Sin embargo, a medio plazo el edema tiende a reducirse e incluso puede dejar de ser visible en los casos de menor tamaño.

De forma global, el artículo de Freund (112) recomienda para sacar el máximo partido a la RM la realización de un estudio pasadas las primeras 48h, en el que recomienda utilizar secuencias T1 y T2 axial y sagital combinados con DWI y mapeo multiparamétrico, y repetir el estudio en lo posible a las 3-4 semanas para valorar así las atrofas del SNC y los puentes tisulares.

Sin embargo, es preciso recordar que cuando se trata con individuos con LMT, especialmente en politraumatismos, resulta con frecuencia complicada la realización de una RM en el momento agudo, al igual que la TC, pues para su realización es preciso realizar un traslado de los pacientes y se trata de estudios que requieren de un tiempo que en este caso es más largo. Durante el tiempo necesario para completar el estudio el paciente ha de permanecer sólo dentro del dispositivo y por las características de estas máquinas deben ser retirados todos los elementos metálicos del individuo y los medios de soporte que podría precisar, como respiradores o vías. Por este motivo, en ocasiones se decide posponer estos estudios hasta fechas posteriores.

### **1.7.1 Valor pronóstico de la RM**

Las técnicas de imagen constituyen un elemento de capital importancia en el diagnóstico y manejo de la LM, y entre todas ellas la RM es considerada la prueba *gold standard* por su capacidad para caracterizar el parénquima medular. Además de su innegable utilidad como herramienta diagnóstica, la RM también ha sido señalada como una herramienta que nos proporciona información acerca del pronóstico de la LM tanto respecto a la evolución neurológica como funcional. Esta hipótesis ya fue sugerida a finales de la década de los 80 y principios de los 90 por varios autores, habiéndose centrado los diferentes estudios en determinados aspectos de la imagen.

#### ***Patrón de lesión medular***

De entre todos los elementos valorables mediante el estudio de RM cuya utilidad como marcador pronóstico ha sido sugerida, el más estudiado y el que a su vez ha demostrado una mejor correlación con la evolución neurológica y funcional ha sido el patrón de la LM, que se manifiesta en la imagen de RM en forma de alteraciones de la señal en el interior del parénquima medular.

Esta observación fue descrita por primera vez por Kulkarni en un artículo del año 1988 (145), en el que se estableció una primera clasificación de los patrones de LM en RM. En este primer trabajo y los que lo siguieron se utilizó para categorizar las lesiones las imágenes de la secuencia sagital en T2 por tratarse de la proyección que permite examinar con mayor claridad el componente inflamatorio parenquimatoso, permitiendo además realizar mediciones de su extensión en el eje sagital. En estudios de esa misma década, las pruebas estadísticas demostraron la existencia de una relación significativa entre estos patrones de lesión y la recuperación neurológica observada en los individuos

con LMT a lo largo de los primeros meses, hecho que no se pudo demostrar inicialmente ni en las imágenes de los cortes axiales ni en las secuencias potenciadas en T1(146).

Los patrones descritos por Kurkarni se muestran en la Tabla 3.

Los datos de este trabajo observaron una mejoría neurológica importante de los pacientes sin imagen de lesión en RM, un pronóstico intermedio en aquellos con patrones II y III y mala evolución en los individuos con patrón de lesión tipo I. Además de la señal medular, los investigadores evaluaron también la utilidad como factor pronóstico del daño de los tejidos blandos y el componente óseo, en este caso sin observar una correlación con el pronóstico. Pese a todo, los datos obtenidos en este trabajo fueron meramente observacionales y no fueron sometidos a una valoración estadística con análisis multivariante o pruebas de contraste de hipótesis.

La misma clasificación creada por Kulkarni fue utilizada de nuevo dos años más tarde por sus mismos autores (147) y posteriormente en otros trabajos, modificando y revisando estos grupos según los resultados de las sucesivas observaciones. De esta forma, un artículo de Schaefer y *col/s.* de 1992 concluyó que, en los pacientes con patrón de edema medular, la extensión del mismo medida en el eje sagital se asociaba de forma significativa con el pronóstico en cuanto a recuperación neurológica según la escala de Frankel, siendo peor la evolución en las lesiones de mayor tamaño (148). Idéntica conclusión se alcanzó en otro trabajo liderado por Flanders, en este caso comparando la evolución funcional dentro los diferentes patrones valorándola mediante la escala FIM (149). En vista de estas observaciones, los estudios posteriores decidieron establecer dos categorías diferentes dentro de los patrones de edema, separándolos según su extensión en el eje sagital, ya fuera realizando la medición en centímetros o bien calculando el número de metámeras afectadas.

**Tabla 3. Patrones de lesión originales establecidos por Kulkarni y cols**

<b>Patrón de RM</b>	<b>Alteración del patrón de señal</b>
<b>Patrón normal</b>	No se observan alteraciones en el parénquima
<b>Patrón I</b>	En T2 área hipointensa rodeada de una zona de hiperintensidad Equivaldría a hemorragia
<b>Patrón II</b>	Área de hiperintensidad en T2  Equivaldría a edema
<b>Patrón III</b>	Zona isointensa acotada por una estrecha zona de hiperintensidad  Los estudios de la época lo describen como patrón de contusión

Adaptado de: Kulkarni MV y cols. 1.5 tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma. Radiographics. 1988;8(6):1059-82.

Otro estudio publicado en la misma época, con una muestra de sólo 15 individuos, llegó a conclusiones similares a los previos en lo que a patrones y pronóstico se refiere, pero es necesario destacarlo en este caso y que se trata del primer trabajo en estudiar la aparición de cavidades quísticas, sugiriendo que se producían con mayor frecuencia en los pacientes con algún tipo de lesión demostrable en RM y en los casos de mayor gravedad (150).

Unos años más tarde, en 2006, contando ya con aparatos de RM con mejor definición de imagen, Boldin y cols. presentaron un trabajo en el que se demostraba también la importancia del tamaño dentro las hemorragias intramedulares pues hallaron que aquellas

de pequeño tamaño (menos de 4 mm) presentaban una evolución mucho más favorable de la que hasta entonces se había atribuido a este patrón de lesión (151). A pesar de ello, esta diferenciación en cuanto a tamaño no se ha visto reflejado de forma habitual en investigaciones posteriores.

Además de lo anterior, existe un quinto patrón de RM, que también aparece reflejado en muy pocos estudios. Se trata en este caso del patrón de sección medular completa, la completa disrupción de todas las fibras medulares. La sección medular es un tipo de lesión que presenta una frecuencia muy baja y cuyo pronóstico, por pura lógica, es nefasto en lo referente a recuperación neurológica (152).

Pese a los años que han transcurrido desde la publicación de los primeros trabajos que hemos mencionado, la cantidad de publicaciones realizadas acerca de esta hipótesis han sido escasas en años posteriores, si bien en la última década parece haberse reavivado el interés en vista del aumento de los trabajos publicados al respecto. Una revisión del año 2011 (128) analizó los artículos publicados acerca del valor pronóstico de la RM en la LM, observando que, de entre los que cumplían las características de inclusión, sólo 4 de ellos se preocupaban de evaluar estadísticamente la relación entre la imagen y el pronóstico. Además, en todos los casos se trataba de estudios con un tamaño muestral reducido, reuniendo entre ellos tan sólo 205 pacientes y siendo el más reciente del año 2005.

### ***Compresión del cordón medular***

Más allá de los patrones de imagen de lesión, diferentes investigadores han aportado otros posibles factores pronósticos valorables mediante el estudio de RM.

En 1991, un estudio realizado en Reino Unido sugirió que el pronóstico de recuperación neurológica en la LM era diferente dependiendo de si los lesionados presentaban o no

compresión del cordón medular (153), si bien es preciso destacar que este artículo era meramente descriptivo y no se realizaban pruebas de contraste de hipótesis. A una conclusión similar llegaron al año siguiente Silberstein y cols (154), quienes también objetivaron que los pacientes con LM que sufrían algún grado de compresión del cordón medular presentaban una peor exploración neurológica, valorada en este caso mediante la escala Frankel. En este trabajo se apreció también que la recuperación neurológica en los casos de compresión medular era mayor entre los pacientes que eran sometidos a cirugía de descompresión. No obstante, una vez más estamos ante un trabajo descriptivo en el que no se realizaron análisis estadísticos y cuya muestra de individuos era pequeña.

Unos años más tarde se publicó un artículo de características similares liderado por Silvia Ramón (155) en el que sí se realizó un análisis estadístico comparando la evolución neurológica de los pacientes según presentasen o no compresión del cordón medular. En este trabajo la compresión fue considerada como un patrón de lesión parenquimatosa añadiéndose a los mencionados en el punto anterior, al igual que años antes habían hecho en otro artículo Flanders y col (156). Si bien, en el artículo de Ramón no se logró demostrar una relación significativa, esto pudo deberse a una errónea clasificación de los patrones de imagen, pues la existencia de compresión medular no constituye un patrón por sí mismo y puede coexistir con un edema o una hemorragia, por lo que es muy probable que en el citado trabajo se produjesen solapamientos entre los mismos.

Poco tiempo después, un nuevo trabajo apareció en la revista *Spine* en el que se evaluaba de forma independiente, ahora sí fuera de los patrones de imagen de lesión parenquimatosa, la repercusión de la compresión tras una LM, evaluando tanto la compresión del canal medular como la del cordón (157). En este caso, el objetivo de los autores era evaluar la importancia de realizar cirugías de descompresión para mejorar el

pronóstico de la LM aguda.

Ante la heterogeneidad de los trabajos previos y de los métodos utilizados para valorar el grado compresión, los grupos de investigación de la LM se plantearon el desarrollo de una metodología estandarizada para realizar las mediciones de la estenosis en las estructuras vertebrales. Con este objetivo, un grupo investigador ideó un método para valorar y cuantificar la estenosis que permitía realizar mediciones tanto sobre el canal medular como sobre el cordón medular. Este método es conocido desde entonces como método de Fehlings, haciendo referencia al autor principal del artículo en el que presentó el sistema (158). Tanto la compresión del cordón medular como la del canal pueden ser calculados a partir de la imagen de RM en proyección sagital, pero sin embargo estudios posteriores, como recoge la revisión publicada por Lammertse (126), establecieron que el canal medular se valora con mayor fiabilidad mediante la imagen de TC, mientras el cordón medular debería ser analizado preferiblemente en la de RM.

Por supuesto, es preciso aclarar que el diámetro de la médula no es homogéneo en toda su longitud, y además, ante cualquier lesión que afecte al parénquima medular se produce algún grado de tumefacción incluso en los casos en que no podemos objetivar hiperseñal en T2. Pese a todo nos encontramos ante un método rápido, accesible a cualquier profesional y fácilmente reproducible, como los propios autores confirmaron en un artículo posterior (159).

Además de presentar la fórmula, el artículo de Fehlings sí fue capaz de demostrar la asociación existente entre la presencia de compresión del cordón medular y una peor valoración neurológica en la exploración de los individuos con LM.

Después de esta publicación, múltiples estudios han evaluado esta misma hipótesis valiéndose de la misma fórmula, ya sea valorando la estenosis de canal o la compresión

medular. No obstante, los datos obtenidos han sido muy variables, habiendo presentado conclusiones significativamente estadísticas unos (160) mientras que en otros casos los resultados no han sido concluyentes (161). Pese al empleo de la misma fórmula, existe una importante heterogeneidad en los estudios, pues algunos se centran sólo en determinados niveles de lesión, otros en valorar la posible mejoría tras realizarse la cirugía de descompresión y en otros las muestras de pacientes eran pequeñas. Pese a todo, la mayoría de los trabajos parecen confirmar que sí que existe un peor pronóstico neurológico en los pacientes que presentan compresión medular o estenosis de canal.

### ***Lesión del sistema ligamentoso vertebral***

Otro aspecto de la LM que se ha relacionado con el pronóstico de recuperación en la LM es el daño de los tejidos blandos vertebrales. Ya en el mencionado trabajo de Kulkarni de 1988 (145) se había valorado esta relación, sin haber podido demostrarse en este caso una relación significativa. Otro artículo de Flanders y cols., publicado en la misma época (156), tampoco pudo confirmar la existencia de una relación entre el pronóstico de la LM y la presencia de lesiones del sistema óseo o ligamentoso. No obstante, tanto el tamaño de las respectivas muestras como la calidad de imagen de los aparatos por aquel entonces podrían haber falseado esta valoración.

Más de veinte años más tarde, Martínez-Pérez lideró la publicación de varios artículos en los que, recopilando pacientes desde 1990, se evaluaba la importancia de las lesiones del sistema ligamentoso vertebral en la LM y su pronóstico neurológico, logrando en este caso demostrar la existencia de una relación significativa. En estos trabajos, donde sólo se incluyeron pacientes con lesión cervical de etiología traumática, se analizaron las imágenes de RM valorando la integridad de los ligamentos amarillo, longitudinal anterior y longitudinal posterior. Se estudiaron los citados componentes por su conocida importancia

en la estabilidad vertebral y la correlación existente entre sus lesiones y las alteraciones en la alineación raquídea (162). Para su estudio, se utilizaron las imágenes sagitales en T2 y STIR, que consideraron las más útiles para el estudio del componente ligamentoso (163).

El primero de los trabajos (164), el que contaba con una muestra más amplia ( $n=108$ ), detectó una relación significativa entre la lesión del ligamento amarillo y la extensión de la lesión del parénquima medular.

En los siguientes artículos se propusieron contrastar la posible relación entre la existencia de lesiones ligamentosas y el pronóstico neurológico, determinando la mejoría según la exploración AIS en el momento agudo y meses más tarde. A pesar de que estos trabajos contaban con un número menor de individuos, los análisis estadísticos sí demostraron la existencia de una relación estadísticamente significativa. El primero de ellos (165), analizando sólo pacientes sin lesión ósea ( $n=48$ ), demostró que aquellos casos en que se observaba una lesión en el ligamento amarillo presentaban en términos absolutos una peor evolución, siendo la relación también positiva, aunque no significativa en el caso del longitudinal anterior. En el otro (166), donde se evaluaban en este caso las imágenes de individuos con lesión ósea ( $n=86$ ), se demostró una relación significativa tanto con la lesión del ligamento amarillo como con la del longitudinal anterior, aunque una vez más no se pudo demostrar esta relación en el caso del ligamento longitudinal posterior.

Si bien estos trabajos sirvieron para abrir una nueva vía de investigación, apenas han tenido repercusión y no se han encontrado durante la investigación del presente estudio nuevas publicaciones que analicen esta hipótesis.

## **2** **Justificación**



## 2. Justificación

En los casos de LM, resulta de gran interés contar con datos que nos proporcionen una orientación sobre la evolución que el paciente pueda presentar. El paciente y la familia, en primer lugar, siempre demandan una información lo más exacta posible acerca del pronóstico para comenzar a tomar las decisiones y prepararse para el futuro, pero también el personal sanitario precisa disponer de una información lo más precisa posible para justificar sus actuaciones y facilitar la toma de decisiones a corto y medio plazo, establecer unos objetivos y decidir hasta donde pudiese ser necesario llegar. Hasta el día de hoy, no es posible conocer de forma exacta el pronóstico, pero sí existen una serie de factores que han demostrado su valor en la estimación del pronóstico.

Las técnicas de imagen constituyen un elemento de capital importancia en el diagnóstico y manejo de la LM, pero a raíz de las investigaciones de diversos grupos de estudio se ha sugerido que estas pruebas pueden también proporcionarnos información acerca del pronóstico de la LM tanto en lo referente a la evolución neurológica como a la evolución funcional y la mortalidad. De entre todas las pruebas de imagen, la RM ha sido la más estudiada y la que más valor ha demostrado debido a su capacidad para caracterizar el interior del parénquima medular. A pesar de esto, hasta los últimos 10 años este tema no ha sido tratado en profundidad, habiéndose publicado hasta entonces un bajo número de estudios metodológicamente útiles al respecto. Por este motivo, en el presente trabajo se ha buscado profundizar sobre este tema proponiendo un estudio retrospectivo recopilando los datos acerca de la evolución de individuos con LMT y evaluando en cada caso las alteraciones objetivables en imágenes de RM.

La ULM del CHUAC es el centro de referencia para la atención integral de los pacientes

con LM de la Comunidad gallega, motivo por el que se dispone de una población conocida que permite realizar estudios de incidencia y prevalencia. Siguiendo los protocolos existentes, la inmensa mayoría de los pacientes son sometidos a estudios de RM por lo menos en los primeros días de su ingreso. Todos los estudios son archivados en la historia clínica electrónica, siendo posible el acceso a las mismas de forma sencilla. Asimismo, los protocolos de atención integral a los lesionados medulares se han mantenido sin grandes cambios durante los últimos años siguiendo en todo momento los estándares internacionalmente aceptados, por lo que se dispone de condiciones uniformes. Estos protocolos recomiendan la realización y el registro de los datos exploratorios de cada paciente durante las sucesivas fases de la evolución, por lo que el acceso a los datos exploratorios que permiten monitorizar la evolución también es posible. Existen varias alteraciones objetivables en el estudio de RM que han sido estudiados como posibles factores pronósticos. Aprovechando la facilidad para acceder a los estudios de imagen realizados durante los últimos años, se ha considerado adecuado evaluar varios de ellos por separado para optimizar las conclusiones a extraer. De esta forma se ha decidido dividir el estudio en varias partes y presentarlo como una tesis por compilación de artículos.

## **3** **Objetivos**



### 3. Objetivos

La presente tesis doctoral se ha realizado para dar respuesta a los siguientes objetivos de investigación:

#### Objetivo principal

Analizar la utilidad y fiabilidad de la RNM de cara a la valoración del pronóstico neurológico en los casos de LMT aguda.

#### Objetivos secundarios

- 1) Evaluar la relación existente entre los patrones de lesión parenquimatosa objetivados en la imagen de RM y el grado de lesión medular.
- 2) Evaluar la relación existente entre los patrones de lesión parenquimatosa objetivados en la imagen de RM y la evolución neurológica de los pacientes con LMT aguda.
- 3) Analizar la influencia de la compresión del cordón medular en el grado de lesión y en la evolución neurológica de los pacientes con LMT aguda.
- 4) Analizar la influencia de las lesiones del sistema ligamentoso vertebral en el grado de lesión y la evolución neurológica de los pacientes con LMT aguda
- 5) Valorar la utilidad de las imágenes de RM realizadas en la fase aguda para predecir la mortalidad y la necesidad de ingreso en Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) en los casos de LMT en función de las alteraciones detectadas.



## **4** **Pacientes y métodos**



## **4. Pacientes y métodos**

### **4.1 Tipo de estudio**

Se plantea un estudio observacional, descriptivo y retrospectivo en una población de pacientes con LM.

### **4.2 Ámbito del estudio**

El estudio fue realizado en la ULM del CHUAC, centro de referencia para la atención de la LM a nivel de la Comunidad Autónoma de Galicia. La ULM está integrada en un hospital de tercer nivel, y consta de un equipo multidisciplinar que proporciona el tratamiento integral de la lesión medular desde la atención en fase aguda, tratamiento rehabilitador y seguimiento médico a largo plazo.

### **4.3 Período de estudio**

Para el estudio se seleccionaron los pacientes que ingresaron en la ULM entre el 1 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2019, abarcando un total de 10 años.

## 4.4 Criterios de inclusión

Se incluyeron en la muestra todos aquellos pacientes mayores de 18 años con LM aguda de etiología traumática e ingreso en la ULM durante el período acotado. Se consideró imprescindible la existencia de al menos de un estudio de RM realizado en los primeros 7 días tras la LM, sin importar que el mismo fuese realizado en el CHUAC o en cualquier otro centro hospitalario perteneciente al Servicio Galego de Saúde, siempre que la historia clínica electrónica permitiese el acceso a las imágenes en el momento de realización del estudio.

Se decidió analizar sólo los pacientes con estudio realizado en los primeros 7 días tras la lesión porque es el límite que se estableció como punto de corte para considerar la fase aguda de una LM en una guía multidisciplinar de 2017 en la que participaron importantes investigadores en el campo de la LM (129).

## 4.5 Criterios de exclusión

Se excluyeron del estudio los casos que cumplieran alguna de las siguientes condiciones:

### **LM de etiología médica**

Se decidió prescindir de ellos para lograr una mayor uniformidad en la muestra, pues se trata de un grupo de lesiones muy heterogéneas y con un manejo mucho menos estandarizado. Además, esta supresión facilita las comparaciones con otros trabajos, puesto que la inmensa mayoría de publicaciones consultadas se centran en lesiones de etiología traumática.

### **LM crónicas**

Se prescinde de ellas debido a que el objetivo del estudio es analizar la evolución de la lesión aguda, por ser el periodo en el que se ha demostrado una mayor capacidad de presentar mejoría neurológica tras la LM.

### **Síndrome de cola de caballo**

Si bien con frecuencia este síndrome se incluye dentro de la LM, en realidad no existe una afectación del cordón medular, con lo que no se pueden observar patrones de lesión o compresión del cordón medular, que son factores clave en los objetivos del estudio.

### **Pacientes con lesiones concomitantes o previas que impidan el correcto desarrollo de las exploraciones regladas y los programas de rehabilitación**

Entrarían aquí por ejemplo los pacientes con deterioro cognitivo importante, amputaciones de miembros u otras enfermedades del SNC que pudiesen producir secuelas a nivel neurológico.

### **Pacientes con afectación medular previa**

Incluso en los casos en que ésta haya sido asintomática, la existencia de lesiones previas puede dificultar la valoración radiológica del cordón medular.

### **Pacientes en los que el primer estudio de RM accesible para el equipo investigador fuese realizado tras una cirugía de artrodesis**

Se eliminan estos individuos porque los artefactos en RM de la instrumentación ósea dificultan de forma importante la valoración de los tejidos subyacentes.

### **RM de mala calidad**

En ciertos casos, bien por problemas del equipo o bien por una mala colaboración por parte de los individuos con LM, las imágenes obtenidas podrían presentar una calidad baja dificultando los análisis.

## 4.6 Protocolo de radiodiagnóstico

La obtención de las imágenes de RM fue realizada siguiendo protocolos estables. Las secuencias utilizadas de forma general fueron T1 sagital y axial, T2 sagital y axial y STIR sagital. Desde el año 2015 se añadió al protocolo la secuencia T2 de eco de gradiente en proyección sagital para aumentar la sensibilidad en la detección de las lesiones hemorrágicas. De forma puntual, en casos de duda, se añadieron secuencias de uso menos habitual como por ejemplo las de difusión.

Los equipos utilizados fueron diferentes según el centro de realización, si bien la mayoría de ellos fueron realizados en el CHUAC. Los modelos empleados fueron los siguientes:

- Achieva 1.5 desde 2010 a la actualidad
- Intera 1.5 desde 2010 a 2016
- Ingenia 1.5 desde 2016 a la actualidad

## 4.7 Variables recogidas

Los casos incluidos en el estudio fueron organizados en una tabla del programa SPSS en la que se recogieron las variables que a continuación se detallan:

### 4.7.1 Variables Sociodemográficas

Edad al momento de la lesión

Sexo: hombre/mujer

#### *4.7.2 Variables relacionadas con el ingreso hospitalario*

Ingreso en UCI: sí/no

Días de ingreso en el centro hospitalario

Fallecimiento: sí/no

#### *4.7.3 Características de la LM*

Se recogieron los datos de las valoraciones neurológicas regladas según los estándares de la ISNCSCI realizadas a todos los ingresados. Siempre que fue posible se realizaron estas valoraciones al momento del ingreso, a las 72 horas de evolución, al mes y al alta. Se comparan los resultados de la primera y la última exploración completa registradas.

Grado AIS: A / B / C /D / E

Nivel de lesión: tetraplejia / paraplejia

Índice motor

#### *4.7.4 Variables referentes a la comorbilidad*

Otras alteraciones que pudieren influir en la evolución de la lesión y/o en el pronóstico funcional.

Índice de Charlson

Presencia de lesión ósea vertebral: sí/no



Dentro de los que presentaban lesión ósea: Tratamiento recibido: conservador / quirúrgico

Presencia de lesiones asociadas a otro nivel: sí / no

Días transcurridos hasta el éxitus

### 4.7.5 Variables relacionadas con la imagen de RM

Tiempo hasta la realización de la primera RM: <24h / 24-72h / >72h

Patrón de imagen de la lesión: sin alteraciones / edema a un nivel / edema a múltiples niveles / hemorragia / sección completa (ver descripción a continuación)

Compresión del cordón medular: sí/no (ver descripción a continuación)



Dentro de los que presentan compresión: Porcentaje de compresión del cordón:

0-24% / 25-49% / 50-74% / 75-100%

Lesión del sistema ligamentoso vertebral: si / no (ver descripción a continuación)

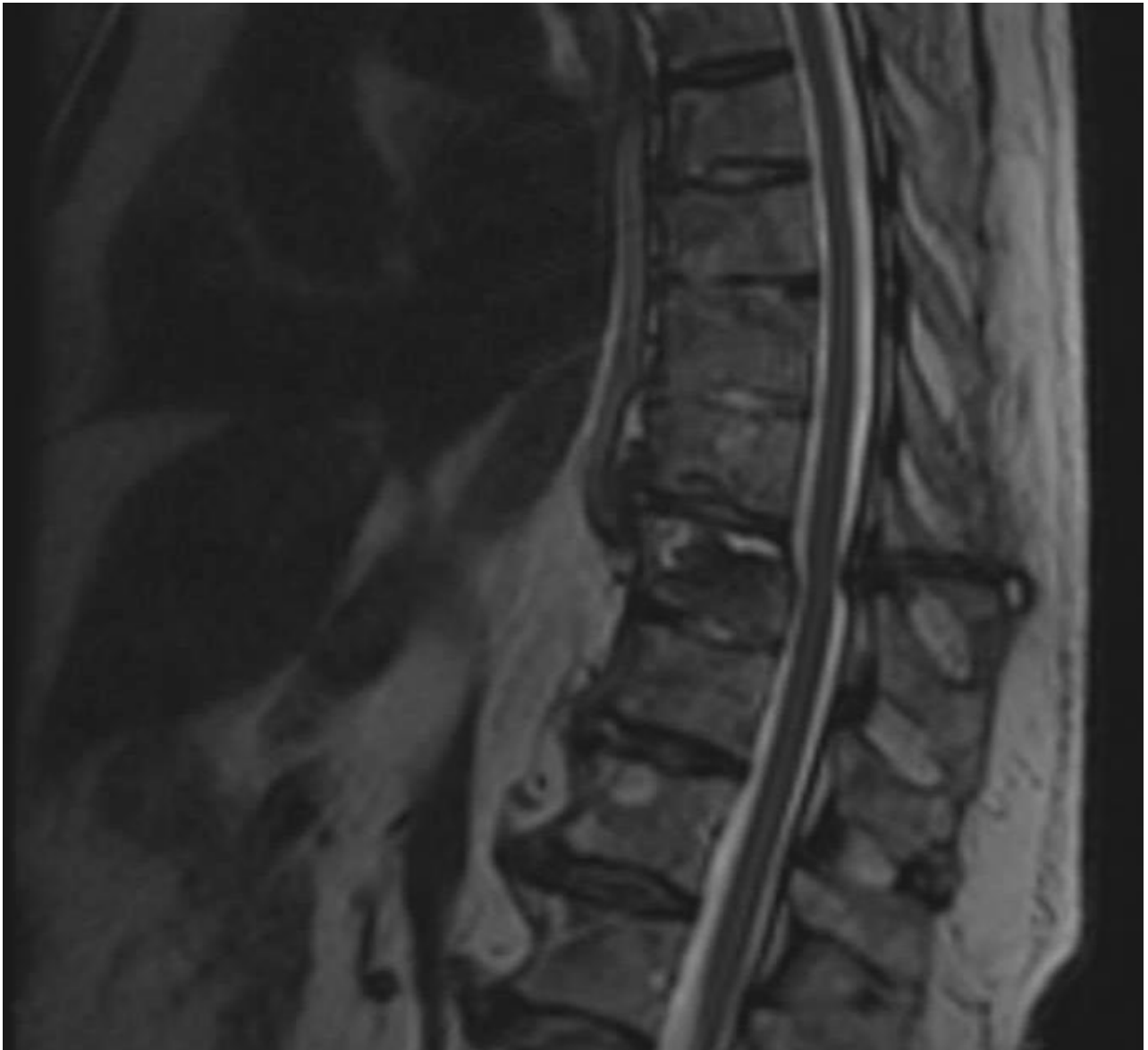
### **Patrón de lesión medular**

Para el diseño del presente estudio se ha establecido una clasificación definiendo 5 grupos de individuos según de los patrones de lesión parenquimatosa en la imagen de RM (Figuras 5 a 9). Estos grupos han sido constituidos en base a las observaciones de los artículos reseñados en la introducción, en la sección Valor pronóstico de la RM, tratando de sintetizar las conclusiones de aquellos en los que se realizaron análisis estadísticos.

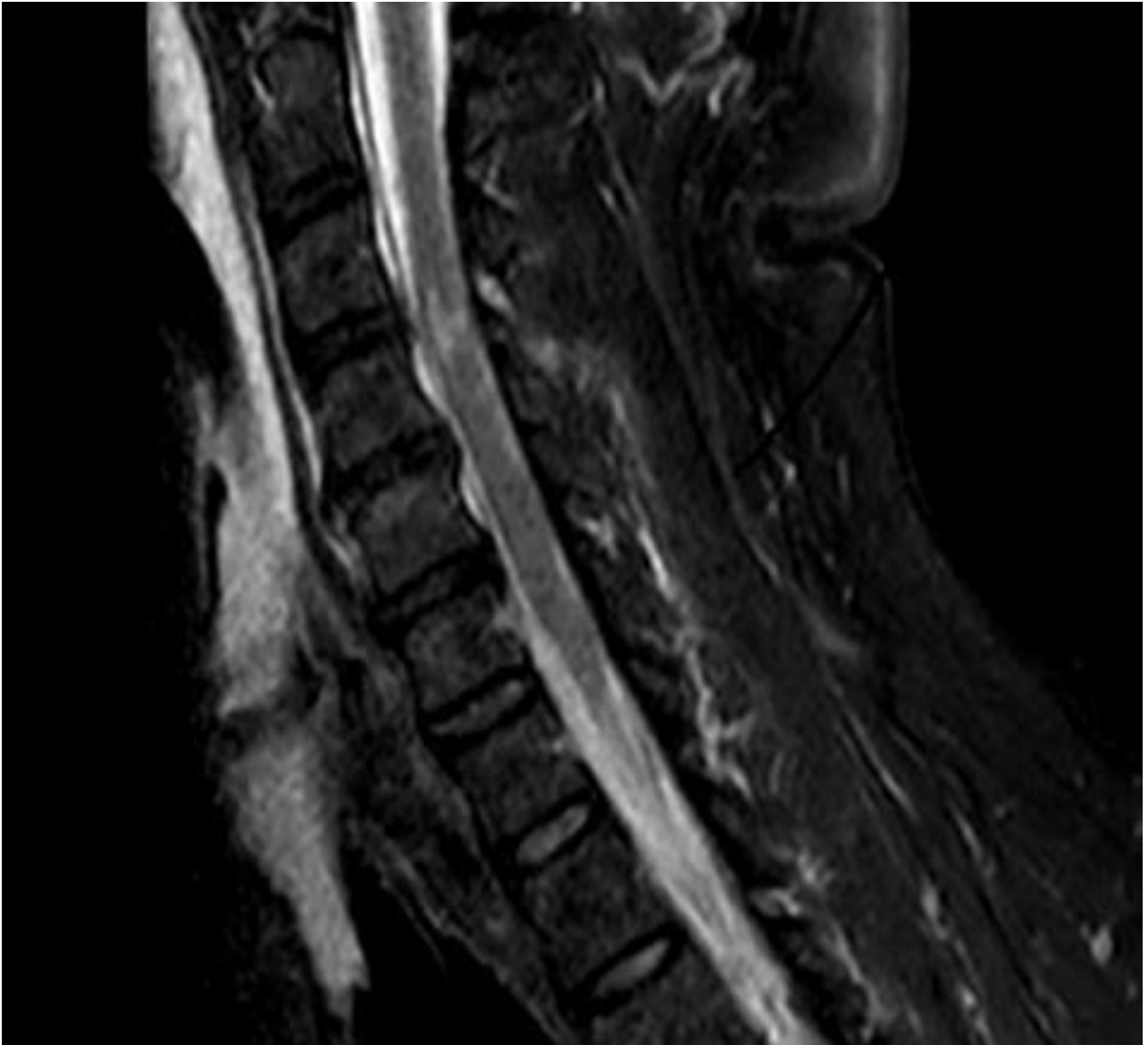
Las lesiones con patrón de edema fueron clasificados por el número de niveles afectados, considerando la extensión de un nivel como el tamaño en eje vertical de una vértebra y un

disco adyacentes. La razón de haber seleccionado este método para las mediciones, en lugar de medir la longitud en milímetros es que se ha considerado que de esta forma se incrementa la fiabilidad interespectador de las valoraciones.

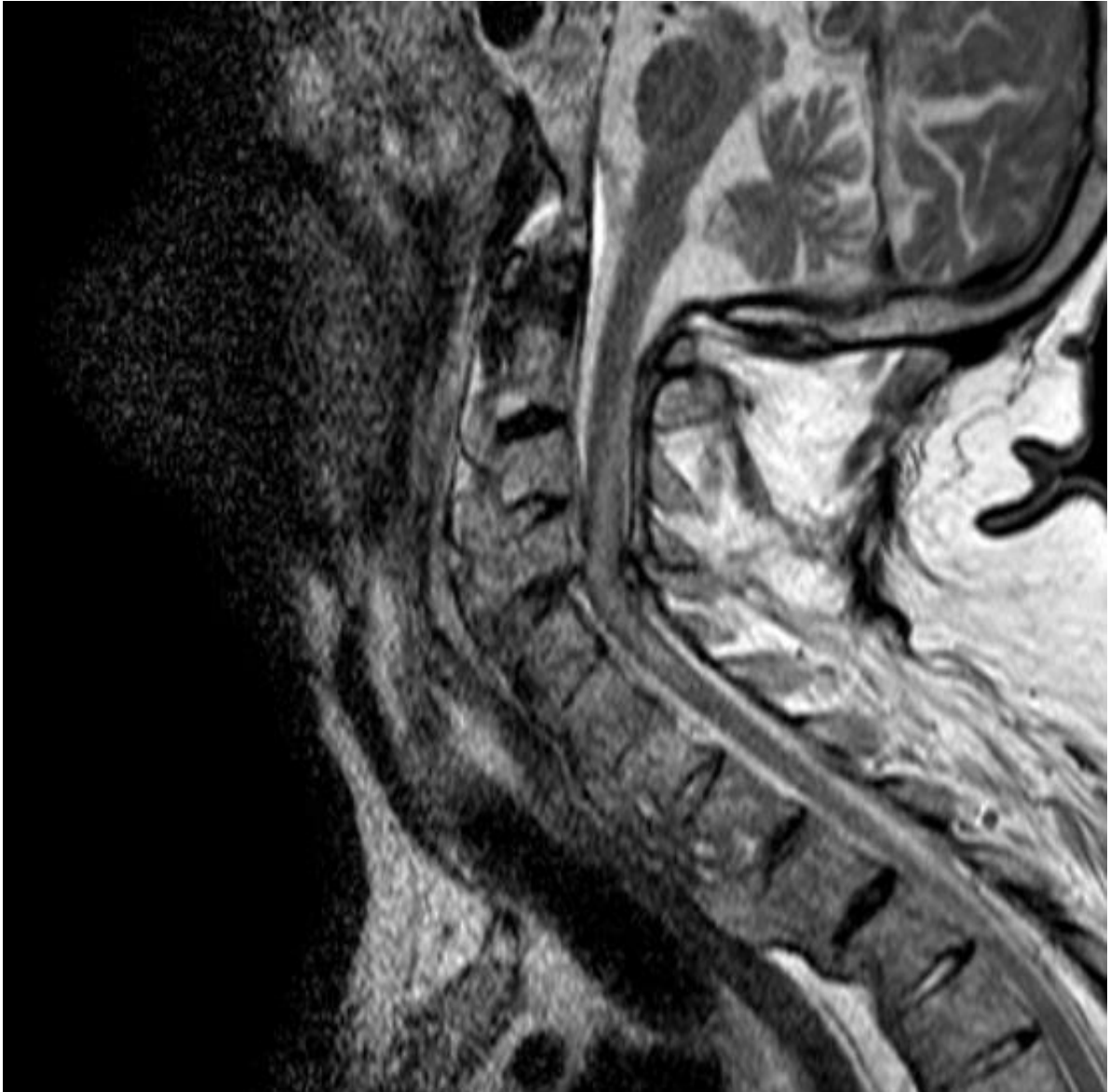
De esta forma, la clasificación de los patrones de lesión en RM establecida para este estudio es la que a continuación se describe.



**Figura 5: Patrón normal:** No se aprecia ningún tipo de alteración de la señal medular en ninguna secuencia de RM



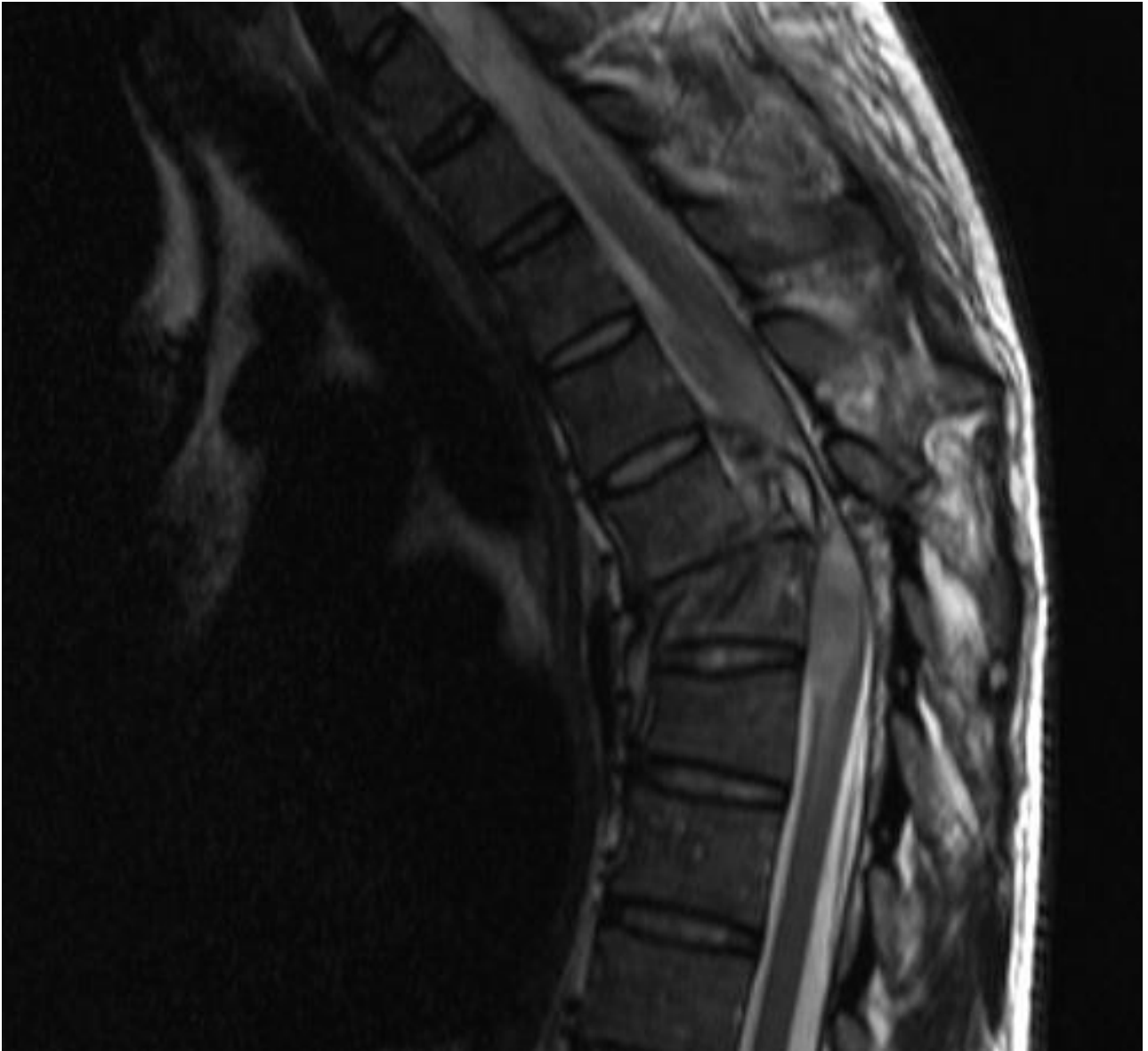
**Figura 6: Edema a un nivel:** Se aprecia en el parénquima medular una señal hiperintensa en T2 que, en el plano sagital, tiene una longitud inferior a la altura de un complejo vértebra-disco contiguo



**Figura 7: Edema a varios niveles:** Se aprecia en el parénquima medular una señal hiperintensa en T2 que, en el plano sagital, tiene una longitud superior a la altura de un complejo vértebra-disco contiguo



**Figura 8: Hemorragia medular:** Se aprecia en el parénquima medular una zona compatible con sangre (cuya señal depende del tiempo de evolución) rodeada habitualmente por un halo hiperintenso en T2 que corresponde al edema circundante.



**Figura 9: Sección medular completa** Se aprecia una disrupción total del parénquima medular

### ***Compresión del cordón medular***

La presencia de compresión de medular se ha valorado siguiendo el método de Fehlings, también mencionado en la introducción. Dado que el presente trabajo versa sobre la utilidad de la RM en el pronóstico de la LM, y los trabajos referenciados indican que la estenosis del canal medular se mide con mayor precisión en la TC que en la RM, sólo se trabajará sobre la compresión del cordón medular.

Esta valoración consiste en realizar sobre el corte sagital de la médula mediciones del diámetro medular, localizando por una parte el punto de menor diámetro de la zona estenosada (D2) y a continuación, tanto a nivel craneal como a nivel caudal, las dos zonas más próximas de parénquima sano, esto es, las que no presenten estenosis ni edema importante (D1 y D3). Disponiendo de estas cifras es posible calcular el porcentaje de estenosis utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de estenosis} = 1 - \frac{D2}{D1 + D3 / 2} \times 100$$

De esta forma, las mediciones realizadas en una siguiente imagen de RM en proyección sagital T2 con datos de compresión medular serían las que presenta la Figura 10.



**Figura 10: Medición de la estenosis medular según el método de Fehlings**

Realizadas las mediciones, se aplicaría la fórmula descrita, obteniendo como resultando un porcentaje de compresión medular:

$$\% \text{ de estenosis} = 1 - \frac{4.70}{7.07 + 6.21 / 2} \times 100 = 29,12\%$$

### ***Lesión del sistema ligamentoso vertebral***

Para la valoración del sistema ligamentoso vertebral, en relación a las publicaciones citadas en la introducción, se ha decidido considerar como daño del sistema ligamentosos cualquier caso de LMT en el que al menos uno de los siguientes componentes haya sufrido alguna rotura: ligamento longitudinal anterior, ligamento longitudinal posterior y sistema ligamentoso amarillo (Figuras 11 y 12).



**Figura 11: Rotura de ligamentos amarillos a nivel C4-5**



**Figura 12: Rotura de ligamentos longitudinales anterior y posterior**

## 4.8 Justificación del tamaño muestral

El objetivo del presente trabajo es similar al de otros artículos publicados, pero tratando, entre otras cosas, de utilizar una base de pacientes más amplia. Muy poco de los artículos consultados hasta 2015 disponían de una muestra superior a 100 pacientes, a pesar de lo cual, en general, los análisis han demostrado resultados estadísticamente significativos. Dada la incidencia estimada en nuestro servicio, y disponiendo ya de una base de más de 500 individuos con LM aguda de etiología traumática ingresados entre 2010 y 2019, aún considerando que parte de los mismos pudiesen no cumplir los criterios establecidos, era razonable pensar que al menos se dispondría de 200 pacientes, sobrepasando ampliamente las muestras utilizadas por otros equipos. Esto nos permitía estimar la frecuencia de los distintos patrones de imagen en la RM con una seguridad del 95 % y una precisión de  $\pm 3\%$ .

Además, una cohorte de 200 sujetos hace posible estimar como estadísticamente significativos valores de riesgo relativo de 1,75 o más asociados a un patrón de imagen presente en el 50% de los pacientes, con una seguridad del 95% y un poder estadístico del 80%, asumiendo una respuesta del 50% en el periodo de estudio, en términos de movilidad o grado de dependencia.

## 4.9 Análisis estadístico

Se realizaron estudios descriptivos de las variables anteriormente explicadas, expresándose las cuantitativas como media  $\pm$  desviación típica y las cualitativas como

valor absoluto y porcentaje sobre cien. Se realizó una estimación de su 95% de intervalo de confianza.

Las comparaciones de medias se realizaron recurriendo bien a la T de Student o bien al test de Mann-Whitney según esté indicado tras comprobar la normalidad de las variables con el test de Kolmogorov-Smirnov.

Para las comparaciones múltiples de medias se utilizaron, también según procediese, la ANOVA o el test de Kruskal-Wallis.

La asociación entre sí de las variables cualitativas se estimó por medio de la prueba de la Chi-cuadrado.

La correlación entre variables cuantitativas se determinó utilizando del coeficiente de correlación de Pearson o la Rho de Spearman.

Para determinar qué variables se asociaban a los eventos de interés se realizó a un análisis multivariante de regresión lineal múltiple y logística.

### 4.10 Aspectos éticos y legales

El desarrollo de esta investigación se ha realizado respetando en todo momento los preceptos éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial 1964 y el Convenio relativo a los derechos humanos y la biomedicina, hecho en Oviedo el 4 de abril de 1997 y la normativa vigente en materia de salud, investigación y protección de datos de carácter personal, tanto europea como estatal y autonómica, aplicable al presente estudio.

El estudio se inició tras haberse obtenido la pertinente autorización del Comité de Ética de la Investigación de A Coruña – Ferrol, la cual fue aceptada a fecha de 20/7/2020 con el código de referencia 2020/371. Los documentos acreditativos se pueden encontrar al final del presente documento (Anexo 2).

Todos los datos necesarios para la realización del estudio fueron recopilados por los facultativos de la ULM como parte de la evaluación de la calidad sobre la asistencia que fue prestada y fueron facilitados al equipo investigador sin ningún dato que pudiese permitir la identificación de los pacientes, cumpliendo de esta forma con los requisitos establecidos por la Disposición Adicional 17<sup>a</sup> (Tratamiento de datos de salud) de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos y garantía de los derechos digitales. Los datos fueron anonimizados y aleatorizados siguiendo el procedimiento establecido en el Área Sanitaria de A Coruña, lo que implica la supervisión y autorización del Subdirector de Información y del Gerente del Área Sanitaria. Toda la información necesaria fue extraída de la base de datos de seguimiento clínico de pacientes de la ULM, contando con el visto bueno del responsable de dicha unidad, el doctor Antonio Rodríguez Sotillo. Los investigadores recibieron la información tras haber sido seudonimizada, garantizando la adecuada separación técnica y funcional entre el equipo investigador y quienes se encargaron de la seudonimización.

Se trata de un estudio retrospectivo en el que fueron incluidos pacientes ingresados desde 2010, algunos de los cuales habían fallecido o no acudían a consulta de seguimiento con la regularidad necesaria para la obtención de un consentimiento informado. Se considera por lo tanto justificable el desarrollo de este estudio conforme a lo establecido en la Disposición Adicional 17<sup>a</sup> antes mencionada. Se ha trabajado en todo momento con información seudonimizada y se adoptaron todas las medidas técnicas y

organizativas necesarias para garantizar una seguridad adecuada en el desarrollo de la investigación, acorde a los requisitos exigidos por el Reglamento General de Protección de Datos y la LO 3/2018.

El estudio se desarrolló asimismo en todo momento de acuerdo con lo establecido en la Instrucción 7/2019, del 15 de enero de 2020, relativa al protocolo para el tratamiento de datos complementarios a los registros de historias clínicas y a la instrucción 2/2020, del 10 de febrero de 2020, relativa al protocolo para el tratamiento de datos de salud en estudios de investigación biomédica.

## **5 Estudios**



## **5.1. ESTUDIO 1**

**Neurological recovery after traumatic spinal cord injury: prognostic value of magnetic resonance**



ARTICLE



# Neurological recovery after traumatic spinal cord injury: prognostic value of magnetic resonance

Rubén Mora-Boga<sup>1</sup>✉, Olalla Vázquez-Muñoz<sup>2</sup>, Sonia Pérttega-Díaz<sup>3</sup>, Sebastián Salvador-de la Barrera<sup>1</sup>, María E. Ferreiro-Velasco<sup>1</sup>, Antonio Rodríguez-Sotillo<sup>1,4</sup>, Rosa M. Meijide-Failde<sup>5</sup> and Antonio Montoto-Marqués<sup>1,4</sup>

© The Author(s), under exclusive licence to International Spinal Cord Society 2022

**STUDY DESIGN:** Retrospective observational study.

**OBJECTIVES:** Assess the relationship between Magnetic Resonance (MR) image patterns and neurological recovery in patients with Traumatic Spinal Cord Injury (TSCI).

**SETTING:** Spinal cord injury unit in Spain.

**METHODS:** Patients admitted for acute TSCI between January 2010 and December 2018 with a MR exam performed in the acute phase were selected. Five patterns were established: normal, single-level edema, multilevel edema, hemorrhage, and spinal cord transection. Comparisons between the ASIA Injury Severity (AIS) score and Motor Index (MI) at admission and at discharge were made.

**RESULTS:** Collected 296 patients. Normal and cord transection patterns were excluded due to the low number of cases. Single-level edema pattern was primarily observed in cases with incomplete injuries, hemorrhage pattern in complete injuries, and multilevel edema pattern at similar percentages in complete and incomplete lesions. Improvement of the AIS score was found in 40.9% of single-level edema, 20.2% of multilevel edema, and 19.0% of hemorrhage ( $p = 0.042$ ) patterns. By excluding the AIS grade D from the analyses, the figures increased to 70.3%, 52.2%, and 19.4% respectively ( $p < 0.001$ ). This significant relationship was confirmed by multivariate analysis, although it was not as relevant as the examination according to ASIA-ISCoS performed at admission ( $p = 0.005$  vs  $p < 0.001$ ). Mean variation of the MI was also significantly different ( $p < 0.001$ ) between the three groups:  $22.6 \pm 21.4$  for single-level edema,  $16.9 \pm 21.1$  for multilevel edema, and  $4.5 \pm 8.4$  for hemorrhage.

**CONCLUSION:** MR injury patterns observed at the acute phase are associated with the possibility of improvement of the AIS score and MI.

*Spinal Cord*; <https://doi.org/10.1038/s41393-022-00759-0>

## INTRODUCTION

The neurological examination, performed according to the ASIA-ISCoS International standards Neurological Classification (ISNCSCI), is the safest way to diagnose and classify the level and degree of a Spinal Cord Injury (SCI). This fact does not discard the relevance of imaging techniques in the study of SCI, either as a support method for the diagnosis or for the characterization of potential concomitant injuries. The only routine imaging test that allows to directly assess the parenchyma of the spinal cord is Nuclear Magnetic Resonance (NMR), considered the *gold standard* method and thus, in general, recommended for all patients with SCI [1], as long as there are no contraindications.

Besides its usefulness as a diagnostic tool, some studies have suggested that NMR image injury patterns in T2 sequence may be correlated with patient's neurological and functional prognosis. This hypothesis was first introduced by Kulkarni et al. in 1988 [2], in which the authors also established the first classification of SCI

NMR patterns. In their study, the data showed good progress in patients with no image of injury in NMR, intermediate prognosis in individuals with spinal cord edema, and deficient in cases of hemorrhage. It should be noted that no contrast hypothesis was tested in the study.

The abovementioned classification was modified two years later by the same authors [3] and revised in other works after that. Thus, in 1992, Schaefer [4] observed that the length of the injury was relevant in cases of edema, being worse the prognosis in large injuries. This observation was in line with the results reported later by Flanders [5]. In 2006, with more accurate MRI systems, Boldin highlighted the importance of the hemorrhage size, determining a less negative prognosis than initially considered in cases with small hemorrhages (<4 mm) [6].

Complete transection is another NRM pattern described in few studies, with very low frequency of occurrence and poor prognosis regarding neurological recovery [7].

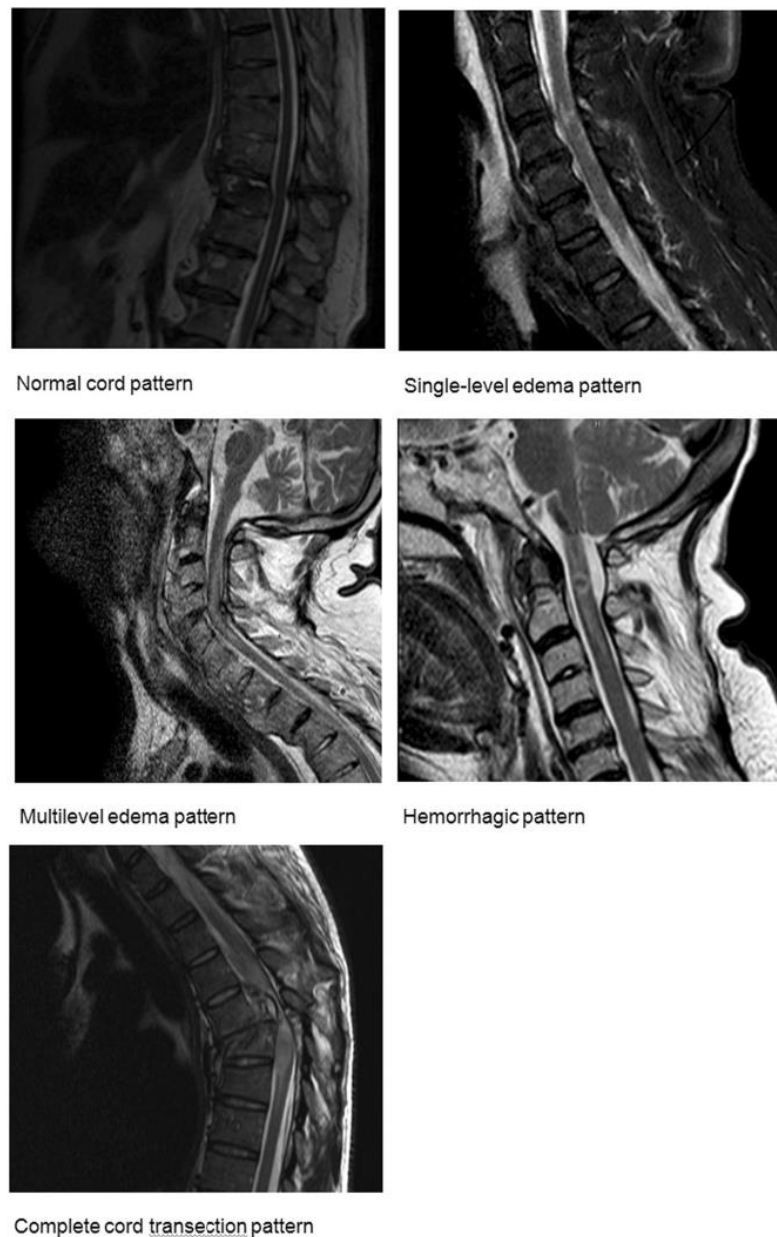
<sup>1</sup>Unidad de Lesionados Medulares, Instituto de Investigación Biomédica de A Coruña (INIBIC). Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, Spain.

<sup>2</sup>Unidad de Neuroradiología. Servicio de Radiología y Radiodiagnóstico. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, Spain. <sup>3</sup>Unidad de Estadística y Epidemiología Clínica. Spanish Clinical Research Network (SCReN). Complejo Hospitalario Universitario, A Coruña, Spain. <sup>4</sup>Departamento de Fisioterapia, Medicina y Ciencias Biomédicas, Universidad de A Coruña, A Coruña, Spain. <sup>5</sup>Grupo de investigación en Terapia Celular y Medicina Regenerativa. Departamento de Fisioterapia, Medicina y Ciencias Biomédicas, Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas (CICA). Facultad de Ciencias de la Salud, Universidade de A Coruña, A Coruña, Spain.

✉email: [ruben.mora.boga@sergas.es](mailto:ruben.mora.boga@sergas.es)

Received: 19 September 2021 Revised: 18 January 2022 Accepted: 23 January 2022

Published online: 01 February 2022



**Fig. 1 Spinal cord injury patterns as seen by nuclear magnetic resonance imaging.** Case examples corresponding to the five patterns established in the study.

Gathering all these works, the following NMR injury image patterns may be established (Fig. 1):

- Normal
- Single-level edema
- Multilevel edema
- Hemorrhage
- Complete transection

Given the interest in the search of prognostic factors in SCIs, the aim of this study was to assess the relationship between NMR parenchymal injury patterns and neurological prognosis.

## METHODS

### Study setting

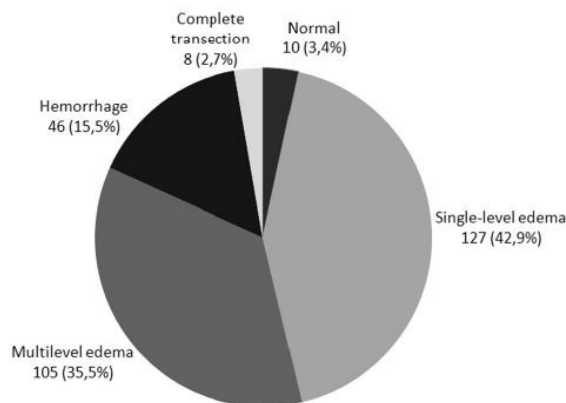
The study was carried out at the Spinal Cord Injuries Unit (SCIU) of the *Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña*, reference center for the treatment of spinal cord injuries in Galicia (Spain) for a population of around 2,750,000 inhabitants.

### Characteristics of the study

Observational, descriptive, and retrospective follow-up study was performed.

### Selection of cases

Individuals admitted to the SCIU between January 2010 and December 2018 were selected.



**Fig. 2 Epidemiology of the patterns.** Distribution of injury patterns based on nuclear magnetic resonance.

Inclusion criteria: >18 years of age, acute Traumatic Spinal Cord Injury (TSCI), NMR study performed within seven days following the injury.

Exclusion criteria: severe comorbidities that precluded performing a standardized neurological examination and/or assessment of the NMR image; such as symptomatic multiple sclerosis, chronic SCI, neurodegenerative disease, or spinal instrumentation.

The following variables were collected and analyzed: age, sex, NMR image pattern, in-hospital mortality, Motor Index (MI), SCI level, and AIS score at admission and at discharge.

With the collaboration of a neuroradiologist, SCIs were classified into five groups based on the NMR image pattern: normal, single-level edema, multilevel edema, hemorrhage, and spinal cord transection. The distinction between single-level edema and multilevel edema was done by comparing the sagittal length of the injury with the size of an adjacent vertebra.

SCI characteristics were assessed based on the international standards for neurological classification of SCIs following the ASIA scale revised in 2011. Neurological progress was determined by assessing the changes in the AIS score and MI between the initial exam and at discharge. To simplify the analyses, the levels of injury were grouped as tetraplegia and paraplegia.

All patients followed the same protocol at hospital admission and received an equal number of hours of therapy (physiotherapy and occupational therapy).

### Statistical analyses

Data were organized and analyzed using IBM® SPSS® Statistics V19 (IBM Corp, 2010, Armonk, NY, USA). Quantitative variables are expressed as median ± standard deviation and qualitative variables as absolute value and percentage (%). Variables were described and compared. Multivariate linear and logistic regression analyses were done to determine which variables were associated with the events of interest.

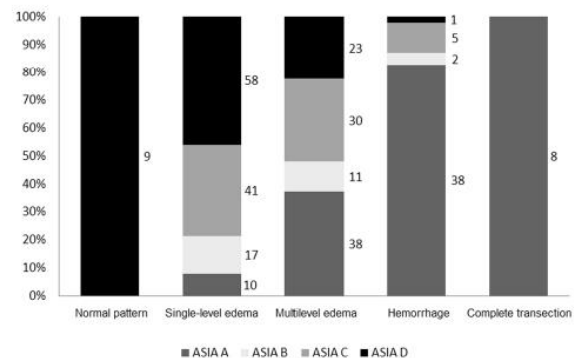
### RESULTS

Seven hundred twenty individuals with acute SCI were admitted during the study period, of which 489 were of traumatic nature and 296 met the inclusion criteria. Mean age was  $60.1 \pm 19.9$  years; 72.6% men and 27.4% women; 68.2% were tetraplegic (21.5% complete injuries) and 31.8% paraplegic (54.2% complete injuries).

At admission, the incidence was, respectively, 32.3%, 10.3%, 26.1%, and 31.3% for AIS grades A, B, C, and D, being at discharge, 22.4%, 7.8%, 12.9%, and 54.5%.

NMR images showed predominance of spinal cord edema patterns, mostly single-level edema (Fig. 2). Few patients showed a normal or cord transection pattern, so they were excluded from the analyses.

No statistically significant differences were seen between the different patterns when analyzed by sex ( $p = 0.125$ ), contrarily to the significance observed by age ( $p = 0.001$ ). Thus, individuals



**Fig. 3 Distribution of AIS score based on nuclear magnetic resonance injury patterns.** Analysis of the frequency of the AIS grades within the established groups according to the magnetic resonance image patterns.

with multilevel edema patterns were older (mean age  $65.2 \pm 18.3$ ), while the group with hemorrhage patterns were younger (mean age  $51.5 \pm 21.9$ ). Furthermore, the percentage of paraplegics (64.8%) was higher in the group with hemorrhage patterns, followed by single-level edema (28.2%), and multilevel edema (20.0%) ( $p < 0.001$ ). The mortality rate also differed between patterns ( $p = 0.041$ ): 17.4% in hemorrhage patterns, 15.4% in multilevel edema, and 6.3% in single-level edema.

Regarding the AIS score, predominance of incomplete injuries was seen among single-level edemas, while in the case of hemorrhages most cases were complete injuries. Similar percentages of complete and incomplete injuries were observed in cases with multilevel edemas. All cases showing a spinal cord transection pattern classified as AIS grade A and those with a normal cord pattern as AIS grade D (Fig. 3).

*Progress of injury grade based on nuclear magnetic resonance patterns*

We compared the neurological exam at admission versus discharge (excluding the patients who died) to determine which of the patterns was associated with greater improvement (Table 1).

Thus, overall, and considering the different grades of injury, higher percentage of improvement of the AIS score was seen in cases with a single-level edema pattern; this percentage was always lower in hemorrhage patterns. It was not possible to contrast our hypothesis due to the low number of cases in each group. In general, 40.9% of the patients with a single-level edema pattern and 40.2% with a multilevel edema pattern showed improvement in their AIS score, while in individuals with a hemorrhage pattern, improvement was seen in 19.0% of the cases. Differences were statistically significant ( $p = 0.042$ ) (Chi-square test).

Due to the uneven inter-group distribution of ASIA D injuries, which may lead to a ceiling effect regarding grade improvement, we repeated the analysis excluding AIS grade D at admission individuals. Under this new condition, percentages in grade improvement increased to 70.3% in patients with single-level edema patterns, 52.2% for multilevel edema patterns, and only 19.4% in cases of spinal cord hemorrhage. A positive relationship ( $p < 0.001$ ) (Chi-square test) was also determined.

Examining the potential confounding variables that might have an effect on neurological progress, AIS score at admission was the only one that showed an influence on the possibility of improving the AIS score ( $p < 0.001$ ), with no influence of sex ( $p = 0.399$ ), level of injury ( $p < 0.163$ ), or age ( $p = 0.079$ ).

Given the results obtained with the univariate analysis, we carried out a multivariate analysis to jointly assess the two factors with significant relationship (ASIA at admission and the NMR pattern), including also the age.

**Table 1.** Progress of AIS score throughout hospitalization based on the different injury patterns.

		Single-level edema	Multilevel edema	Hemorrhage	p value
AIS grade A	Improvement	5 (62.5)	10 (33.3)	5 (16.7)	
	No improvement	3 (37.5)	20 (66.7)	25 (83.3)	
AIS grade B	Improvement	11 (73.3)	6 (66.7)	0 (0.0)	
	No improvement	4 (26.7)	3 (33.3)	2 (100.0)	
AIS grade C	Improvement	29 (70.1)	20 (66.7)	2 (50.0)	
	No improvement	12 (29.9)	10 (33.3)	2 (50.0)	
AIS grade D	Improvement	4 (7.1)	1 (4.8)	0 (0.0)	
	No improvement	54 (93.1)	22 (65.7)	1 (100.0)	
Global	Improvement	49 (40.9)	37 (40.2)	7 (19.0)	0.042
	No improvement	71 (59.1)	55 (59.8)	30 (89.0)	
Without AIS grade D	Improvement	45 (70.3)	36 (52.2)	7 (19.4)	<0.001
	No improvement	19 (29.7)	33 (47.8)	29 (80.6)	

**Table 2.** Multivariate analysis of AIS score progress.

	B	Standard error	Wald	gl	p value	OR	95% CI for OR	
							Inf	Sup
Age at the time of the injury	-0.24	0.009	6.481	1	0.11	0.977	0.959	0.995
NMR pattern			10.580	2	<b>0.005</b>			
Multilevel versus single-level edema	-0.315	0.378	0.694	1	0.405	0.730	0.348	1.531
Hemorrhage vs single-level edema	-1.843	0.574	10.321	1	<b>0.001</b>	0.158	0.051	0.487
AIS score at admission			50.386	3	<b>&lt;0.001</b>			
AIS Grade B vs A	0.862	0.541	2.540	1	0.111	2.368	0.820	6.834
AIS Grade C vs A	1.340	0.429	9.733	1	<b>0.002</b>	3.817	1.645	8.857
AIS Grade D vs A	-2.412	0.600	16.173	1	<b>&lt;0.001</b>	0.090	0.028	0.290
Constant	1.211	0.656	3.407	1	0.065	3.356		

Statistically significant results marked in bold.

Both the image pattern and the AIS score *at admission* showed significant relationship with the possibility of improving the AIS score, not observed for the variable age (Table 2). Significant differences in progression were determined in the comparisons of the NMR patterns between hemorrhage and single-level edema; the likelihood of improving the AIS score was 18-times greater in individuals with single-level edema. There were no differences between patients with multilevel or single-level edema.

*Progress of the MI score based on nuclear magnetic resonance injury patterns*

Significant differences in MI at admission were seen between the three main image patterns ( $p < 0.001$ ); mean MI were  $59.8 \pm 27.2$ ,  $42.5 \pm 29$ , and  $41.6 \pm 21.7$  for single-level edema, multilevel edema, and spinal cord hemorrhage, respectively.

Changes between admission and discharge were calculated globally and as percentage of change to eliminate possible errors due to the uneven figures at admission. Variation was  $22.6 \pm 21.4$  points for the first group,  $16.9 \pm 21.1$  for the second, and  $4.5 \pm 8.4$  for the third (Table 3). On the other hand, differences were wider when presented as percentage of change ( $53.3 \pm 32.9\%$ ,  $36.6 \pm 40.4\%$ , and  $9.7 \pm 22.4\%$ , respectively). Significant differences were found in all cases ( $p < 0.001$ ) (Kruskal-Wallis test).

Analyses of the possible confounding factors showed significant relationship, overall and in percentage of change, of both the initial AIS score and level of injury with the possibility of improving the MI score ( $p < 0.001$ ).

**Table 3.** Motor index progress based on image patterns.

	Mean (SD)	Median	h	P value (Kruskall- Wallis)
Initial motor index				
Single-level edema	59.8±27.2	64.5	43	<0.001
Multilevel edema	42.5±29	46	51	
Hemorrhage	41.6±21.7	50	29	
Motor index at discharge				
Single-level edema	80.9±20.3	88	24	<0.001
Multilevel edema	59.3±32.4	70	56	
Hemorrhage	48.9±23.5	50	25	
Variation of the motor index				
Single-level edema	22.6±21.4	17	29	<0.001
Multilevel edema	16.9±21.1	10	29	
Hemorrhage	4.5±8.4	0	6	
Percentage change of the motor index				
Single-level edema	53.3±32.9	59.7	46.5	<0.001
Multilevel edema	36.6±40.4	37.8	73.1	
Hemorrhage	9.7±22.4	0	9.8	

Statistically significant results marked in bold.

**Table 4.** Multivariate analysis of motor index.

	<i>B</i>	Standard error	<i>p</i> value	95% CI	
				Lower limit	Upper limit
Tetraplegia vs paraplegia	−1.141	7.432	<b>0.012</b>	4.264	33.580
Nuclear magnetic resonance patterns					
Hemorrhage vs single level edema	−13.799	8.144	0.092	−29.863	2.264
Multilevel edema vs hemorrhage	−8.021	5.238	0.127	−18.353	2.311
AIS score at admission					
AIS Grade B vs A	25.325	8.400	<b>0.003</b>	8.758	41.893
AIS Grade C vs A	38.296	7.274	<b>&lt;0.001</b>	23.949	52.643
AIS Grade D vs A	40.860	7.487	<b>&lt;0.001</b>	26.093	55.628

Statistically significant results marked in bold.

In this case, the multivariate analyses showed that the factor with the greatest relationship in MI change was, once again, the initial AIS score, and to lesser extent tetraplegia against paraplegia. No association with NMR patterns was seen, although there was a trend towards greater improvement in single-level edema patterns in comparison to hemorrhage patterns (Table 4).

## DISCUSSION

Most agreements and articles acknowledge that the main predictive factor for neurological recovery (functional and of acute life-threatening prognosis) in SCIs is the neurological examination according to ASIA-ISCO<sup>2</sup> ISNCSCI performed in the first 24–72 h post-injury [8, 9]. Estimation of prognosis has great relevance not only to provide diagnostic guidance to the patient and family members but also because of the greater life-threatening risk in cases of complete and high cervical SCIs, associated with a greater probability of requiring mechanical ventilation and critical care. It is advisable to keep in mind that besides basic knowledge by the specialist, the neurological examination according to ASIA-ISCO<sup>2</sup> ISNCSCI requires the ability of the patient to collaborate. However, it is not uncommon for patients with TSCI to arrive at the hospital with an altered state of consciousness, without forgetting pediatric patients or people with history of previous cognitive impairment. Thus, it is key to have other methods to allow us to make an assessment during the acute-subacute phase. The aim of this study was to evaluate the relationship between NMR injury patterns in the acute phase of TSCI and neurological prognosis.

The data of this study show clear prevalence of edema over any of the other patterns, with a balance between single-level edemas and edemas that are more extensive. There are only 46 cases with a spinal cord hemorrhage pattern, whilst other patterns are almost anecdotal. A meta-analysis by Bozzo et al. [1] analyzed the frequencies of the distinct injury patterns, although the selected articles are not entirely comparable to ours, as some only analyzed tetraplegia and the periods at which the images were obtained were broader. In these studies, the percentage of hemorrhage patterns was higher in comparison to that of our sample (from 22% to 32%), except for the work by Shimada et al. Likewise, higher percentage of extensive edemas rather than at a single-level were reported in all the studies, contrary to our observations. As pointed out in the article by Leybold et al. [10], this may be explained by the fact that the characteristics of the NMR image vary greatly during the first days after the TSCI, with increase of the size of the edemas and hemorrhages over the first hours. In some older works higher percentages of injuries showing normal patterns were reported [2, 3], although since their publication there has been a technological leap, and most probably small signal changes that can be correctly identified nowadays, were overlooked then.

Sociodemographic differences were noted in the different pattern groups, which may be explained by the epidemiology of the lesions. I.e., mean age of patients with hemorrhage injury patterns was lower and percentage of complete injuries higher. This type of trauma results from high-energy impacts (traffic accidents, falls from a height), which occur more frequently among the younger population, as shown in a study carried out in our center [11]. The cause of the higher percentage of paraplegia in cases with hemorrhage patterns seems to be also associated with the intensity of the impact. Thoracic SCIs are less frequent because of the protection given by the rib cage; higher intensity mechanical forces are needed to cause a lesion at that segment in comparison to the cervical spinal cord, leading to a larger number of complete spinal cord injuries [12], usually associated with hemorrhage patterns.

Despite the years since the publication of the first works suggesting the hypothesis of NMR images as a prognostic factor for SCI, few studies on this topic were performed until the last decade. A review carried out in 2011 [1] analyzed the articles published until then on the subject, and statistical evaluation of the image/neurological prognosis relationship was only done in four of them. Sample size in all these works was small, adding up to 205 patients between all of them, the most recent published in 2005. The conclusions of the 2011 review already pointed to a worse prognosis in cases with hemorrhage and multilevel edema patterns, as has been seen in the present work.

Over the last decade, a larger number of studies assessing this relationship have been published. As already pointed out by other authors [13], the reason for this may be that the quality of the images obtained with the devices has greatly improved over the past years and are now accessible worldwide. Data of our work are in line with most of the published studies, including those from 20 years ago. Thus, although AIS score at admission has shown to be the main prognostic factor, ample evidence demonstrates that the NMR injury pattern is a prognostic factor in AIS score changes.

A recent work by Martineau et al. [14], with an approach similar to that of our study, but collecting only cervical injuries, reported results that are comparable to the ones presented here, with a slightly smaller cohort. Both studies agree that initial AIS score is the best predictor of neurological recovery by assessing improvement in the AIS score and MI. Univariate and multivariate analyses were also performed in their study, showing a negative correlation with the presence of hemorrhage and extension of the edema.

A 2017 systematic review [15] examined the existing evidence on the topic and determined moderate evidence of worse prognosis among patients with large intraparenchymal hemorrhage by assessing the AIS score and its changes. This conclusion was reached thanks to the work by Boldin et al. [6]. Evidence for the rest of the conclusions of this study is of low or very low level,

e.g., worse prognosis in cases of more extensive edemas and in hemorrhages in general.

More recently, in 2020, another review was published, although many of the studies included had already been analyzed in the previously mentioned works [16]. The authors of the review concluded that prognosis regarding recovery, assessed through features measured in the neurological examination according to ASIA-ISCoS ISNCSCI, is worse in patients with spinal cord hemorrhage, particularly when they are more extensive, and with larger size edemas. This review was carried out analyzing tetraplegic patients.

Similar conclusions were reached in individual studies, pointing out a worse prognosis in cases of extensive edema [17–19] and hemorrhage patterns [19–22], although the methodology followed is not entirely comparable to the one used in our work.

A study by Aarabi et al. [23], carried out on patients who underwent spinal cord decompression, reported contrary findings. Statistical analyses showed that the greatest predictor of ASIA variations was the length of sagittal edema, being even more specific than the AIS score at admission.

A peculiarity of our study, and what differentiates it from other similar works, is the shorter period until the NMR is carried out. Most agreements recommend obtaining the images during the acute phase, but avoiding the first hours because the signal of the injury undergoes a dynamic progress over the first days. In a study performed by Leybold et al. [10] with a small number of patients, but with significant results, growth of the edema in acute SCI was seen by repeating the NMR study after a mean of 72 h. Matsushita et al. [24] analyzed this in a larger study, concluding that the tests performed between 24 and 48 h post-injury were more useful than those performed within the first 24 hours. In another work published the same year, Rutges et al. [25] measured the progress of the different patterns, and observed that the injuries increased particularly over the first 48 h and began to decrease from Week 3 (although there showed some variability depending on the AIS score). In hemorrhage cases, growth occurred particularly between Days 2 and 7 and decreased from Week 2 on.

In most works, assessment is carried out with NMR studies performed at 72 h after the injury, while in our service the NMR is requested over the first 24 h because the panel of experts recommends this study to be carried out during the first hours whenever possible [26] as an aid in decision-making. Passed this time, and after the patient has been admitted, it is not always advisable to move the patient to the NMR room. Thus, unless there is an urgent indication (unexplained radiological clinical findings or neurological deterioration), transfer is avoided until the patient is clinically stable.

Even though our work and the ones analyzed assess the changes in the signal on the sagittal axis, other recent studies focus on the axial axis. The BASIC scale developed in 2015 [27] is based on this premise; injuries are categorized (grade 0 to 4) according to the covered surface in the axial axis and the presence of hemorrhage. This scale has proven a significant association with the AIS score at admission and its progress. Subsequent works, in which the BASIC scale was used, have confirmed its prognostic utility [28], showing better results than those of the sagittal axis image [29], although in general it is recommended to use both planes jointly to optimize the prognostic value [30].

### Limitations

The neurological examination according to ASIA-ISCoS ISNCSCI allows good follow-up of patient's progress at motor level, however, the inclusion of certain values of a validated scale of function, e.g., the SCIM-III or the WHOQOL-BREF, might have been of interest.

### CONCLUSIONS

- NMR injury patterns evaluated during the acute phase in individuals with TSCI show good correlation with neurological

prognosis, although its superiority as a prognostic factor against initial AIS score has not been demonstrated. However, NMR images provide useful data in cases in which patient's collaboration and/or study data are not optimal.

- TSCIs with NMR hemorrhage patterns have less possibilities of improving their AIS score and their MI in comparison to multilevel edema patterns. Similarly, less improvement is seen in individuals with multilevel edema in comparison to those with a single-level edema pattern.

- Patients with spinal cord hemorrhage patterns are younger in comparison to individuals with edema patterns, presenting higher percentages of complete injuries at thoracic or lumbar levels, which seems to be related to the etiology of the injury, as they are often secondary to high-energy trauma.

- Normal NMR patterns are rare in SCIs and usually correspond to incomplete lesions. Spinal cord transection is also an infrequent pattern, associated to complete injuries.

### DATA AVAILABILITY

The database generated during this study, subsequently codified and anonymized, are available in a SPSS file from the corresponding author on reasonable request.

### REFERENCES

- Bozzo A, Marcoux J, Radhakrishna M, Pelletier J, Goulet B. The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2011;28:1401–11.
- Kulkarni MV, Bondurant FJ, Rose SL, Narayana PA. 1.5 tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma. *Radiographics*. 1988;8:1059–82.
- Bondurant FJ, Cotler HB, Kulkarni MV, McArdle CB, Harris JH. Acute spinal cord injury. A study using physical examination and magnetic resonance imaging. *Spine*. 1990;15:161–8.
- Schaefer DM, Flanders AE, Osterholm JL, Northrup BE. Prognostic significance of magnetic resonance imaging in the acute phase of cervical spine injury. *J Neurosurg*. 1992;76:218–23.
- Flanders AE, Spettell CM, Friedman DP, Marino RJ, Herbison GJ. The relationship between the functional abilities of patients with cervical spinal cord injury and the severity of damage revealed by MR imaging. *Am J Neuroradiol*. 1999;20:926–34.
- Boldin C, Raith J, Fankhauser F, Haunschmid C, Schwantzer G, Schweighofer F, et al. Predicting neurologic recovery in cervical spinal cord injury with post-operative MR imaging. *Spine*. 2006;31:554–9.
- Qiu Z, Wang F, Hong Y, Zhang J, Tang H, Li X, et al. Clinical predictors of neurological outcome within 72 h after traumatic cervical spinal cord injury. *Sci Rep*. 2016;6:38909.
- Scivoletto G, Tamburella F, Laurenza L, Torre M, Molinari M. Who is going to walk? A review of the factors influencing walking recovery after spinal cord injury. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:141.
- Burns, ASMR, Flanders AE, Kramer J, Flett H. Predicting outcome following traumatic spinal cord injury. In: Kirshblum, SCDC, editors. *Spinal Cord Medicine*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins; 2011. p. 119–35.
- Leybold BG, Flanders AE, Burns AS. The early evolution of spinal cord lesions on MR imaging following traumatic spinal cord injury. *Am J Neuroradiol*. 2008;29:1012–6.
- Montoto-Marqués A, Ferreiro-Velasco ME, Salvador-de la Barrera S, Balboa-Barreiro V, Rodríguez-Sotillo A, Mejjide-Failde R, et al. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Galicia, Spain: trends over a 20-year period. *Spinal Cord*. 2017;55:588–94.
- Lee BA, Leiby BE, Marino RJ. Neurological and functional recovery after thoracic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2016;39:67–76.
- Shepard MJ, Bracken MB. Magnetic resonance imaging and neurological recovery in acute spinal cord injury: observations from the National Acute Spinal Cord Injury Study 3. *Spinal Cord*. 1999;37:833–7.
- Martineau J, Goulet J, Richard-Denis A, Mac-Thiong JM. The relevance of MRI for predicting neurological recovery following cervical traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2019;57:866–73.
- Kurpad S, Martin AR, Tetreault LA, Fischer DJ, Skelly AC. Impact of baseline magnetic resonance imaging on neurologic, functional, and safety outcomes in patients with acute traumatic spinal cord injury. *Glob Spine J*. 2017;7:151–74.
- Tarawneh AM, D'Aquino D, Hillis A, Eisa A, Quraishi NA. Can MRI findings predict the outcome of cervical spinal cord injury? a systematic review. *Eur Spine J*. 2020;10:2457–64.

17. Magu S, Singh D, Yadav RK, Bala M. Evaluation of traumatic spine by magnetic resonance imaging and correlation with neurological recovery. *Asian Spine J*. 2015;9:748–56.
18. Srinivas BH, Rajesh A, Purohit AK. Factors affecting outcome of acute cervical spine injury: a prospective study. *Asian J Neurosurg*. 2017;12:416–23.
19. Song KJ, Ko JH, Choi BW. Relationship between magnetic resonance imaging findings and spinal cord injury in extension injury of the cervical spine. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2016;26:263–9.
20. Ter Haar M, Naidoo SM, Govender S, Parag P, Esterhuizen TM. Acute traumatic cervical spinal cord injuries: correlating MRI findings with neurological outcome. *SA Orthop J*. 2011;10:35–41.
21. Gupta R, Mittal P, Sandhu P, Saggar K, Gupta K. Correlation of qualitative and quantitative MRI parameters with neurological status: a prospective study on patients with spinal trauma. *J Clin Diagn Res*. 2014;8:RC13–RC17.
22. Naik BR, Sakalecha AK, Savagave SG. Evaluation of traumatic spine by magnetic resonance imaging and its correlation with cliniconeurological outcome. *J Emerg Trauma Shock*. 2019;12:101–7.
23. Aarabi B, Sansur CA, Ibrahim DM, Simard JM, Hersh DS, Le E. Intramedullary lesion length on postoperative magnetic resonance imaging is a strong predictor of ASIA impairment scale grade conversion following decompressive surgery in cervical spinal cord injury. *Neurosurgery*. 2017;80:610–20.
24. Matsushita A, Maeda T, Mori E, Yuge I, Kawano O, Ueta T, et al. Can the acute magnetic resonance imaging features reflect neurologic prognosis in patients with cervical spinal cord injury? *Spine J*. 2017;17:1319–24.
25. Rutges JPHJ, Kwon BK, Heran M, Ailon T, Street JT, Dvorak MF, et al. A prospective serial MRI study following acute traumatic cervical spinal cord injury. *Eur Spine J*. 2017;26:2324–32.
26. Fehlings MG, Martin AR, Tetreault LA, Aarabi B, Anderson P, Arnold PM, et al. A clinical practice guideline for the management of patients with acute spinal cord injury: recommendations on the role of baseline magnetic resonance imaging in clinical decision making and outcome prediction. *Glob Spine J*. 2017;7:221–30.
27. Talbott JF, Whetstone WD, Readdy WJ, Ferguson AR, Bresnahan JC. The Brain and Spinal Injury Center score: a novel, simple, and reproducible method for assessing the severity of acute cervical spinal cord injury with axial T2-weighted MRI findings. *J Neurosurg Spine*. 2015;23:495–504.
28. Haefeli J, Mabray MC, Whetstone WD, Dhall SS, Pan JZ, Upadhyayula P, et al. Multivariate Analysis of MRI Biomarkers for Predicting Neurologic Impairment in Cervical Spinal Cord Injury. *Am J Neuroradiol*. 2017;38:648–55.
29. Mabray MC, Talbott JF, Whetstone WD, Dhall SS, Phillips DB, Pan ZP, et al. Multidimensional analysis of magnetic resonance imaging predicts early

impairment in thoracic and thoracolumbar spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2016;33:954–62.

30. Farhadi HF, Kukreja S, Minnema A, Vatti L, Gopinath M, Prevedello L, et al. Impact of admission imaging findings on neurological outcomes in acute cervical traumatic spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2018;35:1398–406.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

RMB: conception and design of the study, analysis of data, drafting of the article. OVM: analysis of MR image and critical revision. SPD: analysis of data and interpretation, critical revision. SSB: data collection and critical revision of the article. MEFV: data collection and critical revision of the article. ARS: data collection and critical revision of the article. RMF: conception and design of the study, final approval of the version to be published. AMM: data collection and interpretation, critical revision of the article.

## COMPETING INTERESTS

The authors declare no competing interests.

## ETHICAL APPROVAL

Data were collected from the SCIU admissions register and electronic clinical records, and subsequently codified and anonymized in a database. Data were treated following the guidelines of the Galicia Research Ethics Committee (*Consellería de Sanidade de la Xunta de Galicia*) in compliance with the Organic Law 3/2018, of December 5, Protection of Personal Data and Guarantee of Digital Rights, as required in Spain. The Ethics Committee (registration code 2020/370) approved the study.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Correspondence** and requests for materials should be addressed to Rubén. Mora-Boga.

**Reprints and permission information** is available at <http://www.nature.com/reprints>

**Publisher's note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



## **5.2. ESTUDIO II**

**Evaluation of the prognostic value of extra-parenchymal changes in traumatic spinal cord injury, assessed by magnetic resonance imaging**





Research Article

# Evaluation of the prognostic value of extra-parenchymal changes in traumatic spinal cord injury, assessed by magnetic resonance imaging

**Rubén Mora-Boga<sup>1</sup>, Olalla Vázquez-Muñoz<sup>2</sup>, Sonia Pérttega-Díaz<sup>3</sup>, Sebastián Salvador-de la Barrera<sup>1</sup>, María Elena Ferreiro-Velasco<sup>1</sup>, Antonio Rodríguez-Sotillo<sup>1,4</sup>, Rosa María Meijide-Failde<sup>5</sup>, Antonio Montoto-Marqués<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>Unidad de Lesionados Medulares, Instituto de Investigación Biomédica de A Coruña (INIBIC). Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, Spain, <sup>2</sup>Unidad de Neurorradiología. Servicio de Radiología and Radiodiagnóstico. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, Spain, <sup>3</sup>Unidad de Estadística and Epidemiología Clínica. Spanish Clinical Research Network (SCReN). Complejo Hospitalario Universitario, A Coruña, Spain, <sup>4</sup>Departamento de Fisioterapia, Medicina y Ciencias Biomédicas, Universidad de A Coruña, A Coruña, Spain, <sup>5</sup>Grupo de investigación en Terapia Celular y Medicina Regenerativa. Departamento de Fisioterapia, Medicina y Ciencias Biomédicas, Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas (CICA), Facultad de Ciencias de la Salud, Universidade da Coruña, A Coruña, Spain

**Objectives:** To analyze the relationship between neurological progression following traumatic spinal cord injury and Spinal Cord Compression (SCC) and Spinal Ligamentous Injury (LI) by magnetic resonance imaging.

**Design:** Retrospective observational study.

**Setting:** Spinal Cord Injury Unit (A Coruña, Spain).

**Participants:** Patients were admitted for traumatic spinal cord injury between January 2010 and December 2018 with a magnetic resonance imaging examination performed during the acute phase.

**Intervention:** Evaluation of SCC and LI by magnetic resonance imaging.

**Outcome measures:** Comparisons between neurological examination at admission and discharge were made, assessing ASIA Impairment Scale (AIS) grade and motor score.

**Results:** Data from 296 patients were collected. A relationship between SCC and LI and complete injuries were found ( $P < 0.001$ ). Improvement of the AIS grade was observed in 31.6% of patients with SCC and 31.3% with LI versus 42.7% and 37.8% of subjects without these complications, respectively. Regarding motor score, patients with SCC had lower mean values at the beginning ( $46.9 \pm 26.8$  versus  $61.1 \pm 29.9$  in the control group,  $P < 0.001$ ), as well as less improvement when assessed by the percentage of change ( $35.1 \pm 37.5\%$  versus  $49.4 \pm 38.1\%$  in the control group,  $P = 0.010$ ). Similar results were obtained in cases with LI: mean motor score at admission was  $45.9 \pm 26.7$  versus  $54.9 \pm 29.4$  in the control group ( $P = 0.014$ ) and the percentage of change was  $28.5 \pm 37.1\%$  in comparison to  $46.0 \pm 37.5\%$  ( $P = 0.001$ ) in the controls.

**Conclusions:** There is a relationship between SCC and LI and complete spinal cord injury. This patient population has lower possibilities of improving their AIS grade and motor score.

**Keywords:** Traumatic spinal cord injury, Magnetic resonance imaging, Prognosis, Spinal cord compression

## Introduction

Determining the prognosis for spinal cord injury is challenging, but is key for decision-making during the initial months. The International Standards for

Correspondence to: Rubén Mora-Boga, Unidad de Lesionados Medulares, Instituto de Investigación Biomédica de A Coruña (INIBIC). Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, Spain. Email: ruben.mora.boga@sergas.es

Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI) are the safest way to diagnose and classify a spinal cord injury. It has shown the powerful capacity to predict the prognosis of Traumatic Spinal Cord Injury (TSCI),<sup>1</sup> either by assessing it globally or by focusing on specific aspects of the injury.<sup>2</sup>

Imaging techniques are also very useful when evaluating TSCI. Besides their utility to support the diagnosis and characterize concomitant injuries, some studies have examined their prognostic value.<sup>3</sup> Among the different imaging techniques, Magnetic Resonance Imaging (MRI) has been particularly useful in the study of TSCI due to its capacity to assess the spinal cord parenchyma and the disc-ligament system.<sup>4</sup> Moreover, the imaging patterns of parenchymatous injuries have been studied as prognostic factors of TSCI although, to date, the available evidence is low.<sup>5</sup>

Beyond the parenchymal injury patterns, different researchers have provided other possible MRI-related prognostic factors. In 1991, the authors of a study suggested worse neurological prognoses in cases with Spinal Cord Compression (SCC),<sup>6</sup> although their work was merely descriptive and no statistical analyses were included. In 1992, Silberstein *et al.*<sup>7</sup> reached similar conclusions by observing worse neurological functional status in patients with SCC. In subsequent years several authors analyzed this to either assess the evolution or, in other cases, to evaluate the importance of early decompression intervention.<sup>8</sup> Given the heterogeneity of the works and the used methods to determine and measure the degree of compression, a group of researchers led by Fehlings<sup>9</sup> developed a protocol for measuring stenosis within the spinal canal.

Fehlings' method is easy to use and has shown a good inter-observer correlation, as confirmed by the creators in a subsequent study.<sup>10</sup> Moreover, it has proven to be useful for the assessment of spinal canal stenosis and the spinal cord. Nevertheless, later works, such as the review by Lammertse,<sup>3</sup> concluded that more reliable evaluations of the spinal canal are achieved using CT scans, while the spinal cord must preferably be analyzed by MRI.

After the publication of the article, different researchers used the same formula in their works. One of the valued elements was the possible relationship between SCC and neurological recovery following acute TSCI. The reviewed publications have shown divergent conclusions, some reporting statistically significant relationships,<sup>11</sup> while others have not been able to prove it.<sup>12</sup> The heterogeneity of the methods and objectives may partially explain these differences.

Other groups studied TSCI evolution regarding vertebral ligamentous system injuries. In 1988, Kulkarni *et al.*<sup>13</sup> suggested a worse prognosis in subjects with vertebral Ligamentous Injury (LI), although their data did not allow to show a significant relationship. The small sample size and the poor quality of the images at the time may have been limitations to their study.

Years later, Martínez-Pérez led several studies that aimed to assess the influence of LI on neurological prognosis. In these works, the integrity of the yellow ligaments (ligamentum flavum), anterior longitudinal and posterior longitudinal ligaments was examined by MRI due to their known relevance regarding spinal cord stability and the correlation between their lesions and changes in spinal cord alignment.<sup>14</sup> In the first article<sup>15</sup> the authors found a relationship between ruptures of the yellow ligament and worse evolution, although non-significant in the case of the anterior longitudinal ligament. In a subsequent study,<sup>16</sup> a worse prognosis was determined in cases with injuries of both components, this not being the case when the affected ligament was the posterior longitudinal. While these studies allowed the opening of a new research line, they have hardly had an impact and we found no subsequent related publications during the conduction of the present study.

There is great interest in determining prognostic factors in TSCI. Here we aimed to examine the relationship between these extra-parenchymal changes (SCC and LI) and the neurological prognosis in TSCI patients.

## Material and methods

### Study setting

This study was carried out in the Spinal Cord Injury Unit (SCIU) of *Complejo Hospitalario Universitario* in A Coruña, a reference center for the treatment of spinal cord injuries in Galicia (Spain) that serves a population of around 2,750,000 inhabitants.

### Characteristics of the study

An observational descriptive study with retrospective follow-up.

### Selection of cases

Patients admitted to the SCIU between 2010 and 2019 were selected for the study.

Inclusion criteria:  $\geq 18$  years, admitted to the unit due to acute TSCI, MRI examination over the first seven days following the injury.

Exclusion criteria: severe comorbidity that prevented the performance of a correct neurological exploration,

undergoing rehabilitation and/or, assessment of the MRI examination (i. e. patients with symptomatic neurological disorders, limb amputation, chronic spinal cord injury, and instrumentation before the TSCI).

The following variables were analyzed: age, sex, SCC, LI, associated spinal cord injuries, injuries at other levels, admission to the Intensive Care Unit (ICU), exitus, and characteristics of spinal cord injury at admission and at discharge (including the level of injury, ASIA Impairment Scale (AIS) grade, and motor score (MS)).

Images were analyzed in collaboration with a physician specialized in neuroradiology. We evaluated the SCC and its percentage (Fehlings' method), as well as the existence of disruption in any of the following ligaments of the posterior ligament system: anterior and posterior longitudinal and yellow ligament system.

The characteristics of spinal cord injuries were determined according to the ISNCSCI and neurological progression evaluating changes in the AIS score and MS from the baseline exploration until the patient's discharge. To simplify the analyses, levels of the lesions were categorized as tetraplegia or paraplegia.

During the hospital stay, all study patients were treated following the same protocols and receiving the same number of therapy hours (physiotherapy and occupational therapy).

### Analyses of the images

MR imaging was performed following standard protocols, using sagittal and axial T1, sagittal and axial T2, sagittal STIR, and sagittal gradient echo T2 sequences. Intera 1.5 (from 2010 to 2016) and Ingenia 1.5 (from 2016 to the present) were magnetic resonance devices.

Fehlings' method was chosen to assess SCC. This method consists in measuring the sagittal view of the spinal cord the point with the smallest diameter of the stenosed area (D2) and next the two nearest points free from compression at cranial (D1) and caudal (D3) levels (see Fig. 1). To determine the percentage of compression, the following formula was used to introduce the obtained measures.

$$\%stenosis = 1 - \frac{D2}{D1 + D3} \times 100\%$$

LI was considered in SCI cases in which at least one of the following components had suffered disruption: anterior longitudinal ligament, posterior longitudinal ligament, and yellow ligamentous system.



**Figure 1** Analyses of the image: (A) Measurement of spinal cord stenosis (Fehling's method). (B) Ligament disruption (anterior longitudinal ligament)

### Statistical analyses

Statistical analyses were performed with IBM® SPSS® Statistics V19 (IBM Corp, 2010, Armonk, NY, USA). Descriptive and comparative analyses of the variables were carried out. Quantitative variables are expressed as mean  $\pm$  standard deviation. An estimate of its 95% confidence interval was made.

Mean comparisons were made using Student's *t*-test, after checking the normality of the variables with the Kolmogorov-Smirnov test. To determine the relationship between qualitative variables the Chi-square test or Fisher's exact test was used.

### Results

#### General characteristics

Over the study period, 720 patients were admitted for acute spinal cord injury, of which 296 met the inclusion criteria. The mean age was  $60.1 \pm 19.9$  years; the male: female ratio was 2.65:1. From the total number of cases, 68.2% had tetraplegia (21.5% with complete injuries) and 31.8% paraplegia (54.2% with complete injuries). Overall mortality was 10.8%.

SCC was present in 68.9% of study patients ( $n = 204$ ). Compression was under 50% in 86.2% of the cases. LI was identified in 39.9% of the cases ( $n = 117$ ), with two patients not accounted for because the team did not reach unanimity on LI. When both variables were overlapped, 81.2% of the subjects with LI also had SCC, with a statistically significant relationship between them ( $P < 0.001$ ).

#### Intergroup analysis

No intergroup significant differences were found between the presence or not of SCC by age ( $P = 0.157$ ), sex ( $P = 0.240$ ), level of the lesion ( $P = 0.255$ ), or incidence of concomitant injuries ( $P = 0.543$ ). On the other hand, significant differences were observed in the incidence of bone injury ( $P = 0.028$ ), with a

**Table 1** Characteristics of the established groups based on spinal cord compression.

	Spinal cord compression: no		Spinal cord compression: yes		P
	Mean $\pm$ SD		Mean $\pm$ SD		Student's t-test
Age	57.7 $\pm$ 18.2		61.1 $\pm$ 20.6		0.157
Length of hospital stay (days)	104.3 $\pm$ 88.6		143.9 $\pm$ 76.1		<0.001
Sex	N	%	N	%	Chi-squared test
Male (n = 215)	71	77.2	144	70.6	0.240
Female (n = 81)	21	22.8	60	29.4	
Level of injury	N	%	N	%	Chi-squared test
Tetraplegia (n = 202)	67	72.8	135	66.2	0.255
Paraplegia (n = 94)	25	27.2	69	33.8	
Vertebral fracture	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (n = 194)	52	56.6	142	69.6	0.028
No (n = 102)	40	43.5	62	30.4	
Spine surgery (*)	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (n = 145)	37	71.2	108	81.2	0.136
No (n = 40)	15	28.8	25	18.8	
Associated injuries	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (130)	38	41.3	92	45.1	0.543
No (166)	54	58.7	112	54.9	
Intensive care unit	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (154)	38	41.3	116	56.9	0.013
No (142)	54	58.7	88	43.1	
Mortality	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (n = 32)	2	2.2	30	14.7	0.001
No (n = 264)	90	97.8	174	85.3	

(\*) Patients who died in the first seven post-injury days have not been counted in this section

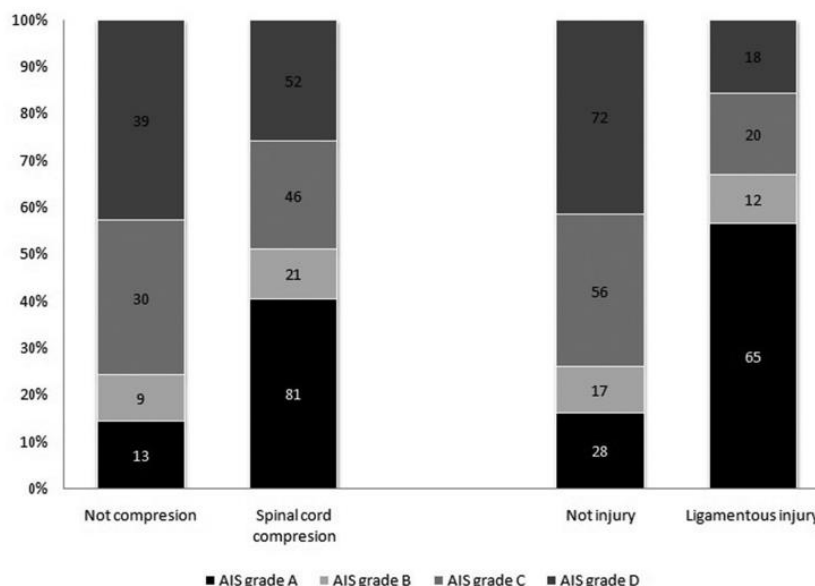
higher percentage in SCC subjects; the same was seen for the need to be admitted to the ICU ( $P = 0.013$ ) and mortality ( $P = 0.001$ ) (Table 1).

Intergroup comparisons revealed notable differences in patients with LI (Table 2). Whereas no differences were found by sex, significant differences were seen by age,

**Table 2** Characteristics of the established groups based on vertebral ligamentous injury.

	Ligamentous injury: no		Ligamentous injury: yes		P
	Mean $\pm$ SD		Mean $\pm$ SD		Student's t-test
Age	62.6 $\pm$ 18.8		56.6 $\pm$ 20.8		0.011
Length of stay hospital (days)	117.1 $\pm$ 80.7		152.5 $\pm$ 82.1		0.001
Sex	N	%	N	%	Chi-squared test
Male (n = 213)	128	72.7	85	72.6	0.988
Female (n = 80)	48	27.3	32	27.4	
Level of injury	N	%	N	%	Chi-squared test
Tetraplegia (n = 201)	133	75.6	68	58.1	0.002
Paraplegia (n = 92)	43	24.4	49	41.9	
Vertebral fracture	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (n = 192)	84	47.7	108	92.3	<0.001
No (n = 101)	92	82.3	9	7.7	
Spine surgery (*)	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (n = 143)	57	69.5	86	85.1	0.011
No (n = 40)	25	30.5	15	14.9	
Associated injuries	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (n = 128)	66	37.5	62	53.0	0.009
No (n = 165)	110	62.5	55	47.0	
Intensive care unit	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (n = 152)	75	42.6	77	65.8	<0.001
No (n = 141)	101	57.4	40	34.2	
Mortality	N	%	N	%	Chi-squared test
Yes (n = 32)	14	8.0	18	15.4	0.046
No (n = 261)	162	92.0	99	84.6	

(\*) Patients who died in the first seven post-injury days have not been counted in this section



**Figure 2** Distribution of AIS grades within the study groups.

*i.e.* patients with LI were younger than those without it. Similarly, the percentage of tetraplegia was lower among subjects with LI, although in both groups tetraplegia was more frequent than paraplegia ( $P = 0.002$ ). Moreover, there were more spinal cord fractures ( $P < 0.001$ ), concomitant injuries ( $P = 0.009$ ), need for ICU ( $P < 0.001$ ), and mortality ( $P = 0.046$ ) in the LI group.

Significant differences were detected in baseline AIS grade, with more complete injuries in SCC and LI patients in comparison to subjects without these complications ( $P < 0.001$  for both cases), as seen in Fig. 2.

#### *Evolution of the level of injury based on extra-parenchymal changes*

The assessment of neurological progression showed a lower trend toward changes in the AIS score in SCC

patients in comparison to individuals without this complication. Thirty-one point six percent (31.6%) of SCC cases improved their grade during hospital stay versus 42.7% of the non-compression group. Differences were, however, non-significant ( $P = 0.075$ ).

In the analysis of the different AIS grades, a higher percentage of improvement among subjects without SCC was seen, except for an AIS grade B (the least numerous group). The results were statistically significant for an AIS grade C (Table 3).

Among all AIS grades, the least improvement was seen in individuals with an AIS grade D with an overall percentage of subjects who improved their AIS grade below 10%. Similarly, the distribution of AIS D among the established groups was quite different, which may cause a bias due to a ceiling effect. Thus,

**Table 3** Neurological improvement by AIS grade based on spinal cord compression and ligamentous injury.

		Spinal cord compression			Ligamentous injury		
		No N (%)	Yes N (%)	P	No N (%)	Yes N (%)	P
Grade A	Improvement	5 (41.7)	15 (23.4)	Fishers's test 0.282	7 (31.8)	13 (24.5)	Chi-squared test 0.516
	No improvement	7 (58.3)	49 (76.6)		15 (68.2)	40 (75.5)	
Grade B	Improvement	4 (50.0)	13 (72.2)	Fishers's test 0.382	10 (66.7)	6 (60.0)	Fisher's test 1.000
	No improvement	4 (50.0)	5 (37.8)		5 (33.3)	4 (40.0)	
Grade C	Improvement	25 (83.3)	26 (57.8)	Chi-squared test 0.020	39 (69.6)	12 (63.1)	Chi-squared test 0.601
	No improvement	5 (16.7)	19 (42.2)		17 (30.4)	7 (36.9)	
Grade D	Improvement	4 (10.2)	2 (4.3)	Fishers's test 0.401	6 (8.6)	0 (0.0)	Fisher's test 0.588
	No improvement	35 (89.8)	46 (95.7)		64 (91.4)	16 (100.0)	

by removing AIS grade D from the analysis, the overall percentage of patients who improved their AIS grade rose to 57.5% in SCC cases and to 68.0% in the controls, with statistically significant differences ( $P = 0.002$ ).

#### *Evolution of the degree of injury based on ligamentous injury*

When the above analysis was repeated considering the LI, less improvement was again observed in patients with LI: 31.3% of the cases improved their AIS grade in comparison to 37.8% of subjects with ligament integrity, with no statistical difference ( $P = 0.286$ ).

In the analysis by grades, the above-described pattern was repeated, *i.e.* AIS D injuries barely improved, and in all AIS scores percentages of improvement were greater among patients without LI. Individual results for each AIS grade were not significant (Table 3).

Repeating the previous approach, AIS grade D individuals were removed from the analysis. This way, overall percentages of improvement increased notably; 37.8% of the subjects with LI improved their injury degree versus 60.2% of the subjects without LI, with statistically significant differences ( $P = 0.002$ ).

#### *Evolution of the motor score based on extra-parenchymal injuries (Table 4)*

Significant differences ( $P < 0.001$ ) were seen within the established groups with or without of SCC, although the difference in MS improvement among SCC patients at discharge was not statistically significant ( $P = 0.231$ ), despite being worse than in the group without SCC. However, to correct the error due to the different initial values, we calculated percentages of change. This way differences were more apparent, the percentage of change being almost 15% greater in the group without SCC. According to Student's *t*-test, differences were statistically significant ( $P = 0.010$ ).

Regarding LI, baseline values were significantly superior in the group without LI ( $P = 0.014$ ). MS variation in LI subjects was discretely lower in cases with LI, without statistically significant differences ( $P = 0.061$ ). As per the percentage of change, differences were again noticeable, and the contrast of hypothesis showed statistically significant differences ( $P = 0.001$ ).

### **Discussion**

A decisive factor, when assessing the extra-parenchymal changes examined in this study, is the energy of the triggering trauma. In our study sample, 68.9% of the patients suffered SCC, with a much higher frequency among subjects who concurrently presented spinal cord bone injury, as well as in cases with LI.

Ligaments provide a large part of their resistance to the spinal cord structure; thus, the energy required to cause a LI is very high.<sup>17</sup> For this reason, these patients have more bone fractures and associated injuries and the rate of mortality is higher. This explains the higher percentage of complete injuries detected among patients with SCC or LI. However, the data extracted from this analysis show that TSCI evolution is worse in cases with SCC or LI, regardless of the AIS grade, although the mean age and length of hospital stay in both groups were lower, and the intensive rehabilitation period was higher. This was not observed in AIS B cases with SCC, although the sample size of these groups was not big enough to conclude.

A review published in 2017 in which SCC was assessed among other prognostic factors,<sup>18</sup> was not able to determine any level of evidence on its influence on neurological prognosis in TSCI patients. Some of the reasons argued by the authors were that the consulted studies included small sample size and measurements were taken using heterogeneous methods.

Martineau *et al.*<sup>19</sup> using a methodology similar to that adopted by our team but only including patients with cervical injuries, examined SCC using Fehlings' protocol and compared the outcome with the evolution of the MS and AIS grade. In their work, SCC was significantly associated with lower MS changes, which was not seen with grade changes. By contrast, Miyanji *et al.*<sup>20</sup> concluded there were significant differences regarding the evolution of the AIS score when assessing spinal canal compression as well as in spinal cord compression, although there was a closer relationship with the intramedullary hemorrhage and AIS grade at admission, as they were considered the most relevant prognostic factors.

In the review by Tarawneh *et al.*<sup>21</sup> on MRI- and TSCI-related prognostic factors, a significant relationship between neurological progression and SCC was observed in two of the three examined works. Like in our study, SCC was associated with worse neurological progression.

Farhadi *et al.*<sup>22</sup> with a methodology similar to that of our study, the authors showed the prognostic value of medullary and canal stenosis. However, they observed that its influence was much lower in comparison to intraparenchymal injury patterns.

A recent article assessed the TSCI prognosis considering several factors related to MRI and TC scans with a mean follow-up of 30 months.<sup>23</sup> The univariate analysis showed a good relationship between the AIS grade at admission and SCC, not observed in spinal cord canal compression. This relationship was not shown in the

**Table 4** Motor score changes within the groups based on extra-parenchymal damage.

Spinal cord compression (SCC)			Ligamentous Injury (LI)		
	Mean $\pm$ SD	P		Mean $\pm$ SD	P
	MS at admission			MS at admission	
SCC: no	61.1 $\pm$ 29.9	Student's <i>t</i> -test <0.001	LI: no	54.9 $\pm$ 29.4	Student's <i>t</i> -test 0.014
SCC: yes	46.9 $\pm$ 26.8		LI: yes	45.9 $\pm$ 26.7	
	MS at discharge			MS at discharge	
SCC: no	79.4 $\pm$ 24.7	Student's <i>t</i> -test <0.001	LI: no	73.6 $\pm$ 27.6	Student's <i>t</i> -test <0.001
SCC: yes	62.7 $\pm$ 29.6		LI: yes	58.3 $\pm$ 29.3	
	MS variation			MS variation	
SCC: no	19.3 $\pm$ 21.1	Student's <i>t</i> -test 0.231	LI: no	18.8 $\pm$ 20.3	Student's <i>t</i> -test 0.061
SCC: yes	15.9 $\pm$ 20.2		LI: yes	13.7 $\pm$ 20.5	
	Percentage of MS change			Percentage of MS change	
SCC: no	49.4 $\pm$ 38.1%	Student's <i>t</i> -test 0.010	LI: no	46.0 $\pm$ 37.5%	Student's <i>t</i> -test 0.001
SCC: yes	35.1 $\pm$ 37.5%		LI: yes	28.5 $\pm$ 37.1%	

MS = motor score; SCC (spinal cord compression).

multivariate analysis, where the length of intramedullary edema was the only significant factor. No significant association was seen in the evolution during hospital admission with either SCC or spinal canal compression, with, again, the length of intramedullary edema being the only factor with significant influence.

A possible general confounding factor observed when assessing SCC is the greater percentage of complete injuries among patients with this complication, which is three-fold higher in the sample analyzed in the study. This occurrence was also described by Skeers *et al.*<sup>24</sup> in a population of paraplegic patients and by Ter Haar *et al.*<sup>11</sup> with tetraplegics. In the present study, unlike the rest of the evaluated works, a breakdown of the AIS grade was done, observing that in all grades, except for AIS B (low sample size), there was a lower percentage of improvement in SCC cases, albeit significant differences were only shown for AIS C.

A difference between this work and most of the reviewed articles during the completion of our study is that most MRI studies were carried out over the first 24 h following TSCI, while in the other works, in most cases, it took between 24 and 72 h. This can be compared to a study carried out in an Emergency department,<sup>25</sup> in which the authors conclude that the SCC was associated with a worse neurological prognosis, although it should be considered that the sample size was small (55 subjects) and their analyses were very basic.

As to LI, a few studies have assessed the evolution of acute TSCI. Firstly, it might be worth considering the reliability of MRI to assess these structures. MRI is the only routinely used study that allows reliably checking of the integrity of vertebral ligaments, depending on the assessed ligament, reliability between 91% and 100% has been calculated,<sup>14</sup> even though other studies

have reduced significantly these figures. However, the emergence of new image sequences and improved definitions of the instruments have facilitated the assessment of LI in recent years.<sup>26</sup> In 2020, Henninger *et al.*<sup>27</sup> compared MRI features against intraoperative observations on 21 patients with cervical spine hyperextension trauma. The authors observed a 90.9% correlation when short tau inversion recovery (STIR) was used, a sequence that is part of the MRI protocol in our center.

The value of LI as a neurological prognostic factor was referred to for the first time by Song *et al.*,<sup>28</sup> who developed a classification to assess vertebral soft tissue damage. The authors found more injuries in spinal parenchyma in cases in which ligament damage was more severe. Later, Boese *et al.*<sup>29</sup> analyzed a large sample of patients with SCIWORA and also observed that patients with LI had more severe injuries.

After the abovementioned articles, Martínez-Pérez *et al.* proposed a relationship between soft tissue damage and TSCI prognosis. Currently, and to the best of our knowledge, Martínez-Pérez has published only three articles that exclusively analyze this point. All the works were carried out in patient populations with cervical spinal cord injuries. In the first study, lesion length with regard to the damage to ligament structures was examined.<sup>30</sup> The authors showed a relationship and extrapolated it to other publications that associated the length of the injury with the prognosis for recovery. The authors argue that the great advantage of the study on soft tissue damage is that LI is not a dynamic process and is not as influenced by possible delays in getting the necessary tests as occurs in cases of changes in spinal cord signals, which commonly show important variations during the most acute phase of TSCI.

In 2017, two other studies by this team were published. One included 48 patients with cervical SCIWORA and improvements in the AIS grade were evaluated.<sup>15</sup> The work showed a greater improvement in subjects whose ligaments were not affected, although possibly due to the small sample size, significance was only observed for yellow ligaments ( $P = 0.05$ ). In the second study, patients with incomplete TSCI and bone injury were included and improvements in the grade were also assessed.<sup>16</sup> Univariate analyses showed the influence of yellow and anterior longitudinal ligaments on the prognosis of the injury, as well as the size of the edema and facet joint dislocation. However, multivariate analyses did not show its superiority over the other cited factors.

In our sample, soft tissue damage positively affects AIS grade and MS. We could, however, argue that the two analyzed groups of patients (with and without LI), had several important differences; the groups were comparable by sex but showed significant differences in age, degree of injury, and the rest of assessed variables. However, the reason for these differences seems to be associated with the intensity of the trauma that caused the injury.

Concerning the AIS grade, there is uneven grade distribution between both groups. This could be misleading to assess if there is an improvement or not, so we carried out separate analyses of the different groups and the percentage of patients who improved was always greater among those without LI, even despite their higher mean age. Differences in initial MS are mostly due to the larger percentage of complete injuries in patients with soft tissue damage, even though there are fewer subjects with tetraplegia in comparison to the control group.

The results of the present analyses suggest that both extra-parenchymal changes (SCC and LI) may help in the prognosis of SCI progression, which may be useful to better direct the process of rehabilitation and make decisions when prescribing therapies toward certain objectives, perhaps allowing to reduce hospital stay and patient's frustration by setting more realistic objectives.

## Conclusions

SCC is associated with a higher frequency of vertebral fractures and ligament tearing. Patients who suffer from SCC have an increased risk of mortality and need for ICU.

LI is more frequent in younger patients and usually associated with polytrauma with spine fractures.

In TSCI cases, SCC or LI associates with complete injuries and lower MS in comparison to subjects

without these complications. Regardless of the grade of injury, these patients have lower possibilities of improving their degree of injury and MS.

## Ethical approval

Data were collected from the SCIU electronic clinical records, and subsequently codified and anonymized in a database. All information was treated following the guidelines of the Galicia Research Ethics Committee (*Consellería de Sanidade, Xunta de Galicia*) in compliance with the Organic Law 3/2018, of December 5, Protection of Personal Data and Guarantee of Digital Rights, as required in Spain. The Ethics Committee (registration code 2020/370) approved the study.

## Disclaimer statements

**Contributors** None.

**Funding** none

**Conflicts of interest** Authors have no conflict of interests to declare.

## References

- Burns AS, Marino RJ, Flanders AE, Kramer J, Flett H. Predicting outcome following traumatic spinal cord injury. In: Kirshblum SCDe, (ed.) *Spinal cord medicine*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins; 2011. p. 119–35.
- Kaminski L, Cordemans V, Cernat E, M'Bra KI, Mac-Thiong JM. Functional outcome prediction after traumatic spinal cord injury based on acute clinical factors. *J Neurotrauma* 2017;34(12):2027–33.
- Lammertse D, Dungan D, Dreisbach J, Falci S, Flanders A, Marino R, Schwartz E. Rehabilitation NIODa. Neuroimaging in traumatic spinal cord injury: an evidence-based review for clinical practice and research. *J Spinal Cord Med* 2007;30(3):205–14.
- Goradia D, Linna KF, Cohen WA, Mirza S, Hallam DK, Blackmore CC. Correlation of MR imaging findings with intraoperative findings after cervical spine trauma. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007;28(2):209–15.
- Fehlings MG, Martin AR, Tetreault LA, Aarabi B, Anderson P, Arnold PM, et al. A clinical practice guideline for the management of patients with acute spinal cord injury: recommendations on the role of baseline magnetic resonance imaging in clinical decision making and outcome prediction. *Global Spine J* 2017; 7:221–30.
- Sett P, Crockard HA. The value of magnetic resonance imaging in the follow-up management of spinal injury. *Paraplegia* 1991;29: 396–410.
- Silberstein M, Brown D, Tress BM, Hennessey O. Suggested MRI criteria for surgical decompression in acute spinal cord injury. Preliminary observations. *Paraplegia* 1992;30(10):704–10.
- Rao SC, Fehlings MG. The optimal radiologic method for assessing spinal canal compromise and cord compression in patients with cervical spinal cord injury. Part I: An evidence-based analysis of the published literature. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999;24(6): 598–604.
- Fehlings MG, Rao SC, Tator CH, Skaf G, Arnold P, Benzel E, et al. The optimal radiologic method for assessing spinal canal compromise and cord compression in patients with cervical spinal cord injury. Part II: results of a multicenter study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999;24(6):605–13.
- Fehlings MG, Furlan JC, Massicotte EM, Arnold P, Aarabi B, Harrop J, et al. Interobserver and intraobserver reliability of maximum canal compromise and spinal cord compression for

- evaluation of acute traumatic cervical spinal cord injury. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31(15):1719–25.
- 11 Ter Haar M, Naidoo SM, Govender S, Parag P, Esterhuizen TM. Acute traumatic cervical spinal cord injuries: correlating MRI findings with neurological outcome. *SA Orthopaedic J* 2011;10(1):7.
- 12 Mabray MC, Talbott JF, Whetstone WD, *et al*. Multidimensional analysis of magnetic resonance imaging predicts early impairment in Thoracic and Thoracolumbar spinal cord injury. *J Neurotrauma* 2016;33(10):954–62.
- 13 Kulkarni MV, Bondurant FJ, Rose SL, Narayana PA. 1.5 tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma. *Radiographics* 1988;8(6):1059–82.
- 14 Pizones J, Zúñiga L, Sánchez-Mariscal F, Alvarez P, Gómez-Rice A, Izquierdo E. MRI study of post-traumatic incompetence of posterior ligamentous complex: importance of the supraspinous ligament. Prospective study of 74 traumatic fractures. *Eur Spine J* 2012;21(11):2222–31.
- 15 Martínez-Pérez R, Munarriz PM, Paredes I, Cotrina J, Lagares A. Cervical spinal cord injury without computed tomography evidence of Trauma in adults: magnetic resonance imaging prognostic factors. *World Neurosurg* 2017;99:192–9.
- 16 Martínez-Pérez R, Cepeda S, Paredes I, Alen JF, Lagares A. MRI prognostication factors in the setting of cervical spinal cord injury secondary to Trauma. *World Neurosurg* 2017;101:623–32.
- 17 Merter A, Karaca MO, Yazar T. Biomechanical effects of sequential resection of the posterior ligamentous complex on intradiscal pressure and resistance to compression forces. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2019;53(6):502–6.
- 18 Kurpad S, Martin AR, Tetreault LA, *et al*. Impact of baseline magnetic resonance imaging on neurologic, functional, and safety outcomes in patients with Acute Traumatic spinal cord injury. *Global Spine J* 2017;7:151–74.
- 19 Martineau J, Goulet J, Richard-Denis A, Mac-Thiong JM. The relevance of MRI for predicting neurological recovery following cervical traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord* 2019;57(10):866–73.
- 20 Miyajiri F, Furlan JC, Aarabi B, Arnold PM, Fehlings MG. Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome—prospective study with 100 consecutive patients. *Radiology* 2007;243(3):820–7.
- 21 Tarawneh AM, D'Aquino D, Hilis A, Eisa A, Quraishi NA. Can MRI findings predict the outcome of cervical spinal cord injury? a systematic review. *Eur Spine J* 2020;29(10):2457–64.
- 22 Farhadi HF, Kukreja S, Minnema A, Vatti L, Gopinath M, Prevedello L, *et al*. Impact of admission imaging findings on neurological outcomes in acute cervical traumatic spinal cord injury. *J Neurotrauma* 2018;35(12):1398–406.
- 23 Vivekanandaswamy AN, Kannan M, Sharma V, Shetty AP, Maheswaran A, Kanna RM, *et al*. Prognostic utility of magnetic resonance imaging (MRI) in predicting neurological outcomes in patients with acute thoracolumbar spinal cord injury. *Eur Spine J* 2020;29(6):1227–35.
- 24 Skeers P, Battistuzzo CR, Clark JM, Bernard S, Freeman BJC, Batchelor PE. Acute Thoracolumbar spinal cord injury: relationship of cord compression to neurological outcome. *J Bone Joint Surg Am* 2018;100(4):305–15.
- 25 Selden NR, Quint DJ, Patel N, d' Arcy HS, Papadopoulos SM. Emergency magnetic resonance imaging of cervical spinal cord injuries: clinical correlation and prognosis. *Neurosurgery* 1999;44(4):785–92.
- 26 Martínez-Pérez R, Jiménez-Roldán L, Lagares A. Ligaments disruption: a new perspective in the prognosis of spinal cord injury. *Neural Regen Res* 2014;9(5):456–7.
- 27 Henninger B, Kaser V, Ostermann S, Spicher A, Zegg M, Schmid R, *et al*. Cervical disc and Ligamentous injury in hyperextension Trauma: MRI and intraoperative correlation. *J Neuroimaging* 2020;30(1):104–9.
- 28 Song KJ, Kim GH, Lee KB. The efficacy of the modified classification system of soft tissue injury in extension injury of the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33(15):E488–93.
- 29 Boese CK, Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormalities in adults: a systematic review. *J Trauma Acute Care Surg* 2013;75(2):320–30.
- 30 Martínez-Pérez R, Paredes I, Cepeda S, Ramos A, Castaño-León AM, García-Fuentes C, *et al*. Spinal cord injury after blunt cervical spine trauma: correlation of soft-tissue damage and extension of lesion. *AJNR Am J Neuroradiol* 2014;35(5):1029–34.



### **5.3. ESTUDIO III**

**Prognostic value of early magnetic resonance imaging in the morbidity and mortality of traumatic spinal cord injury**





# medicina *intensiva*

<http://www.medintensiva.org/en/>



## ORIGINAL ARTICLE

# Prognostic value of early magnetic resonance imaging in the morbidity and mortality of traumatic spinal cord injury

Rubén Mora-Boga<sup>a,\*</sup>, Olalla Vázquez Muños<sup>b</sup>, Sonia Pértiga Díaz<sup>c</sup>, Rosa María Meijide-Failde<sup>d</sup>, Antonio Rodríguez-Sotillo<sup>a,d</sup>, María Elena Ferreiro-Velasco<sup>a</sup>, Sebastián Salvador-de la Barrera<sup>a</sup>, Antonio Montoto-Marqués<sup>a,d</sup>

<sup>a</sup> Unidad de Lesionados Medulares, Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, Spain

<sup>b</sup> Unidad de Neurorradiología, Servicio de Radiodiagnóstico, Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, Spain

<sup>c</sup> Unidad de Estadística y Epidemiología Clínica, Spanish Clinical Research Network (SCReN). Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (CHUAC), A Coruña, Spain

<sup>d</sup> Departamento de Fisioterapia, Medicina y Ciencias Biomédicas, Universidade de A Coruña (UDC), A Coruña, Spain

Received 10 November 2021; accepted 7 January 2022

## PALABRAS CLAVE

Lesiones de la médula espinal;  
Pronóstico;  
Resonancia magnética;  
Heridas y lesiones;  
Cuidados críticos;  
Mortalidad

## Abstract

**Objective:** To assess in individuals with traumatic spinal cord injury (TSCI) the relationship between mortality and need for ICU and early magnetic resonance imaging (MRI), analyzing spinal parenchymal alterations, disruption of vertebral ligaments (DVL) and spinal cord compression (SCC).

**Design:** Retrospective study.

**Setting:** Third-level hospital, Spinal Cord Injury Unit and ICU.

**Patients:** Individuals with acute TSCI between 2010 and 2019.

**Intervention:** Analysis of MRI performed in the first 72 h.

**Variables of interest:** Admission to ICU and mortality.

**Results:** 269 cases collected. The pattern that demonstrated higher mortality was cord hemorrhage (16.7%) for 12.5% of single-level edema and 6.5% of multilevel edema ( $p=0.125$ ). The same happened with ICU admissions: 69.0% in hemorrhage, 60.2% in multilevel edema and 46.3% in short edema ( $p=0.018$ ).

DOI of original article: <https://doi.org/10.1016/j.medin.2022.01.002>

Abbreviations: TSCI, Traumatic Spinal Cord Injury; ASIA, American Spinal Injury Association; MRI, Magnetic Resonance Imaging.

\* Corresponding author.

E-mail address: [ruben.mora.boga@sergas.es](mailto:ruben.mora.boga@sergas.es) (R. Mora-Boga).

<https://doi.org/10.1016/j.medine.2022.07.020>

2173-5727/© 2022 Elsevier España, S.L.U. and SEMICYUC. All rights reserved.

Please cite this article as: R. Mora-Boga, O. Vázquez Muños, S. Pértiga Díaz et al., Prognostic value of early magnetic resonance imaging in the morbidity and mortality of traumatic spinal cord injury, *Medicina Intensiva*, <https://doi.org/10.1016/j.medine.2022.07.020>

R. Mora-Boga, O. Vázquez Muños, S. Pértiga Díaz et al.

Analyzing CCM, mortality was 13.4% with 59.2% of ICU admissions, for 2.2% and 42.2% of individuals without cord compression ( $p=0.020$  and  $p=0.003$ ). The figures of death and ICU admission among cord injuries with DVL were 15.0% and 67.3%, for 6.2% and 44.4% of the individuals without DVL ( $p<0.001$  and  $p=0.013$ ).

**Conclusions:** The presence of spinal cord hemorrhage, SCC and DVL was associated with a higher admission in ICU. A significant increase in mortality was observed in cases with SCC and DVL.

© 2022 Elsevier España, S.L.U. and SEMICYUC. All rights reserved.

**KEYWORDS**

Spinal cord injuries;  
Prognosis;  
Magnetic resonance  
imaging;  
Wounds and injuries;  
Critical care;  
Mortality

**Valor pronóstico de la resonancia magnética precoz en la morbilidad y mortalidad de la lesión medular traumática****Resumen**

**Objetivo:** Valorar en individuos con lesión medular traumática (LMT) la relación entre la mortalidad y la necesidad de UCI y las alteraciones objetivadas mediante resonancia magnética (RM) precoz, analizando alteraciones parenquimatosas, disrupción de ligamentos vertebrales (DLV) y compresión del cordón medular (CCM).

**Diseño:** Estudio retrospectivo.

**Ámbito:** Hospital de tercer nivel, unidad de lesionados medulares y UCI.

**Pacientes:** Individuos con LMT aguda entre los años 2010 y 2019.

**Intervenciones:** Análisis de RM realizada en las primeras 72 horas.

**Variables de interés:** Ingreso en UCI y mortalidad.

**Resultados:** Recogidos 269 casos. El patrón que se asoció a una mayor mortalidad fue la hemorragia (16,7%) por 12,5% de los edemas a un nivel y 6,5% de los edemas a múltiples niveles ( $p=0,125$ ). Lo mismo aconteció con los ingresos en UCI: 69,0% en hemorragia por 60,2% en edema múltiple y 46,3% en edemas cortos ( $p=0,018$ ).

Respecto a la CCM, la mortalidad fue del 13,4% con 59,2% de ingresos en UCI por 2,2% y 42,2% de quienes no presentaban compresión ( $p=0,020$  y  $p=0,003$ ). Las cifras de éxito e ingreso en UCI en los individuos con DLV fueron respectivamente del 15,0% y el 67,3%, por un 6,2% y 44,4% de los individuos sin DLV ( $p<0,001$  y  $p=0,013$ ).

**Conclusiones:** La presencia de hemorragia medular, CCM y DLV se asoció a una mayor necesidad de UCI. Existe un significativo aumento de la mortalidad en los casos con CCM y DLV.

© 2022 Elsevier España, S.L.U. y SEMICYUC. Todos los derechos reservados.

**Introduction**

Traumatic spinal cord injury (TSCI) constitutes an important challenge for healthcare professionals. In addition to motor and sensory alterations, disruption of the spinal cord tracts has a strong impact on cardiorespiratory function. It is therefore considered crucial to include specialists in intensive care within the multidisciplinary care team, particularly during the acute phase.<sup>1</sup>

The middle and long-term mortality risk factors in TSCI have been widely investigated, though few studies have assessed the risk of complications during the first post-injury hours.<sup>2</sup> Based on longer-term research, it is known that advanced age, injuries at cervical level and lesion grade<sup>3,4</sup> constitute the main indicators of a poor prognosis.<sup>5</sup>

Considering the above, it is important to perform a correct and early neurological evaluation in order to establish the lesion level and grade. Protocolized physical examination based on the guidelines of the American Spinal Injury Association (ASIA) has been shown to be the most reliable method for the diagnosis and classification of TSCI.<sup>6</sup>

However, such evaluation requires the collaboration of the patient, which is not always possible during the acute phase of the lesion. It is therefore necessary to have alternative methods in order to at least be able to estimate the characteristics of the lesion - with imaging techniques being an interesting option in this sense. Of the different techniques available, magnetic resonance imaging (MRI) allows us to assess the spinal cord parenchyma together with the ligaments and vertebral discs.<sup>7</sup> Indeed, MRI is considered to be the gold standard in TSCI, and is thus recommended in all cases.<sup>8</sup>

The relationship between the MRI image and the prognosis of TSCI has been established for decades.<sup>9</sup> In recent years, several studies have related the existence of certain parenchymal lesion patterns to a poorer patient outcome.<sup>10-14</sup> The following classification can be made in which the prognosis worsens as we move down the list:

- Pattern without spinal cord damage
- Single-level edema
- Multi-level edema

- Spinal cord hemorrhage
- Sectioning of the spinal cord

In addition to the parenchymal pattern, different authors have analyzed other possible factors indicative of a poor prognosis and that can be evaluated by MRI. Of these factors, the most widely investigated has been the presence of spinal cord compression (SCC),<sup>15</sup> which is generally associated with a poorer outcome. On the other hand, and although less widely studied, several articles have been published in which the disruption of vertebral ligaments (DVL) in the context of TSCI has been associated with a poorer outcome. In this regard, lesions of the ligamenta flava and the anterior and posterior longitudinal ligaments have been found to be of prognostic value.<sup>16–18</sup>

The present study evaluates the influence of the alterations identified by MRI performed in the first hours following TSCI upon the patient's vital prognosis and the need for critical care, to offer a new tool to facilitate acute management of the disorder.

## Patients and methods

### Study setting

The present study was carried out in a tertiary hospital, with the collection of data on patients admitted to the Spinal Cord Injury Unit (SCIU).

### Characteristics of the study

A retrospective, descriptive observational study was made.

### Patients

We selected those individuals admitted to the SCIU between January 2010 and December 2019.

Inclusion criteria: patient age > 18 years, the presence of acute TSCI, and MRI evaluation performed in the first 72 h.

Exclusion criteria: a history of neurological disease implying important functional loss before TSCI, or resulting in altered spinal cord MRI signal characteristics, and the presence of vertebral instrumentation in the injured zone.

### Data compilation

The following variables were recorded: age, gender, etiology, time to MRI, pattern of the lesion in MRI, presence of SCC, presence of DVL, level and grade of TSCI upon admission, presence of vertebral lesions or other associated lesions, Charlson comorbidity index, admission to the Intensive Care Unit (ICU), and in-hospital mortality.

Age was recorded as the mean  $\pm$  standard deviation (SD), and was also stratified as either over or under 65 years, in concordance with the practice of most published studies on TSCI.<sup>19,20</sup>

The patients with TSCI were evaluated with the cooperation of an expert in radiology of the central nervous system. The classification of the lesion pattern was based on the elements described above: normal pattern, single-level edema,

multilevel edema, spinal cord hemorrhage and complete sectioning of the spinal cord.<sup>10–14</sup> Single-level edema was defined as edema with a sagittal extent inferior to the size of an adjacent disc-vertebra complex. The disruption of vertebral ligaments (DVL) in turn was defined as the alteration of at least one of the following components of the vertebral ligament system: ligamenta flava, anterior longitudinal ligament and posterior longitudinal ligament.<sup>16–18</sup>

The characteristics of the spinal cord injury were evaluated based on the international standards for the classification of TSCI according to the ASIA.<sup>21</sup> To simplify the analysis, the lesion levels were grouped into high tetraplegia (levels C1 to C4), low tetraplegia (C5 to C8) and paraplegia.

### Statistical analysis

A descriptive study was made, reporting quantitative variables as the mean  $\pm$  standard deviation (SD), and qualitative variables as absolute values and percentages. The comparison of means was carried out using the Student-test, while multiple comparisons of means were performed with the Kruskal-Wallis test. Associations between qualitative variables were explored using the chi-square test. The IBM® SPSS® version 20 statistical package (IBM Corp., 2010, Armonk, NY, USA) was used throughout.

### Ethical and legal aspects

The data were obtained from the SCIU admissions registry and the electronic case histories, followed by coding and anonymization, and were processed following the guidelines of the Research Ethics Committee, complying with Spanish legislation (*Ley Orgánica 3/2018*, of 5 December) referred to personal data protection and digital rights. The study was approved by the Research Ethics Committee (Ref.: 2020/370).

### Results

A total of 720 patients were admitted with acute spinal cord injury during the study period. Of these cases, 489 were of traumatic origin – with 269 cases meeting the study inclusion criteria. In 77.3% of the cases, MRI was performed in the first 24 h after TSCI.

A total of 30.3% of the patients (n=80) that could be correctly evaluated (in 5 cases patient collaboration was not adequate) suffered complete lesions, and in 69.3% of the cases (n=183) the lesion was located at cervical level. The data are summarized in [Table 1](#).

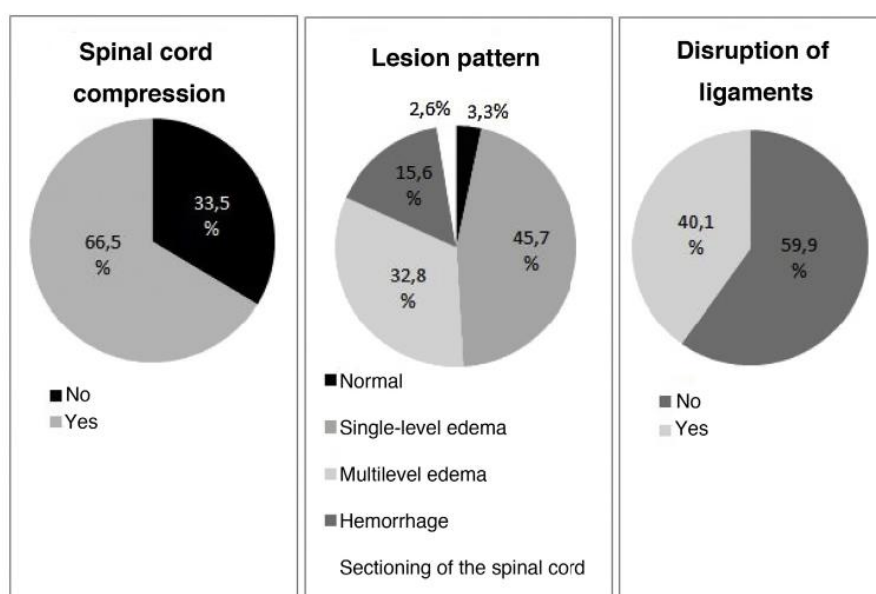
The alterations documented by the MRI scans are detailed in [Fig. 1](#). Few cases were classified as corresponding to a normal pattern or complete sectioning, with edema being the most frequent pattern. The distributions according to lesion level, percentage hemorrhage, SCC and DVL were similar between low and high tetraplegia, but not so in establishing comparisons with paraplegia.

The most common cause of injury was falls (n=183). Of these cases, 63.4% corresponded to falls from a height (defined as over one meter). Traffic accidents were the second most common cause of TSCI (n=56). Three diving

**Table 1** American Spinal Injury Association (ASIA) classification of lesion grade and MRI imaging characteristics of the sample according to lesion level.

Level	Tetraplegia C1–4	Tetraplegia C5–8	Paraplegia	TOTAL
ASIA	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
A	21 (20.4)	17 (21.2)	42 (51.9)	80 (30.3)
B	6 (5.8)	8 (10.0)	15 (18.5)	29 (11.0)
C	39 (37.9)	16 (20.0)	15 (18.5)	70 (26.5)
D	37 (35.9)	39 (48.8)	9 (11.1)	85 (32.2)
Pattern	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
Normal	3 (2.9)	4 (4.9)	1 (1.2)	8 (3.0)
Single-level edema	44 (41.9)	45 (54.9)	34 (42.0)	123 (45.9)
Multilevel edema	46 (43.8)	27 (32.9)	15 (18.5)	88 (32.8)
Hemorrhage	10 (9.5)	6 (7.3)	26 (32.1)	42 (15.7)
Complete sectioning	2 (1.9)	0	5 (6.2)	7 (2.6)
Compression	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
Yes	69 (65.7)	52 (63.4)	58 (71.6)	179 (66.8)
No	36 (34.3)	30 (36.6)	23 (28.4)	89 (33.2)
Disruption of ligaments	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
Yes	39 (37.5)	26 (31.7)	42 (52.5)	107 (40.2)
No	65 (62.5)	56 (68.3)	38 (47.5)	159 (59.8)

MRI: magnetic resonance imaging.

**Figure 1** Frequency of the different alterations identified by the MRI scan.

injuries were also recorded, as well as 27 cases of TSCI due to other causes (mostly direct traumatism). The percentage of tetraplegia cases corresponding to the different etiologies was similar among the three predominant groups: 74.0% in the case of traffic accidents, 68.3% in the case of falls (on considering only falls on the same level, tetraplegia represented 89.6%), and 66.7% in the case of other trauma origins. All diving injuries corresponded to tetraplegia cases.

Stratified by etiology, the MRI patterns yielded similar data, as can be seen in Table 2, with a slightly greater percentage of traffic accident cases among the hemorrhagic and

spinal cord section patterns. Likewise, DVL was more frequent in the case of traffic accidents, though no differences were recorded in terms of the presence of SCC.

The groups of cases were analyzed to detect population differences that might constitute a source of bias (Table 3). The analysis excluded normal images and spinal cord sectioning due to the small sample size. Among the parenchymal lesion patterns, significant differences were recorded in relation to age ( $p=0.006$ ), which was greater among the patients with extensive edema ( $63.7 \pm 18.2$  years), while the individuals with spinal cord hemorrhage

**Table 2** Relationship between the cause of spinal cord injury and the MRI findings.

	Traffic N (%)	Fall N (%)	Dive N (%)	Others N (%)
Normal pattern	0	7 (3.85)	1 (33.3)	1 (3.7)
Single-level edema	26 (46.4)	84 (45.9)	0	13 (48.2)
Multilevel edema	17 (30.4)	65 (35.5)	0	6 (22.2)
Spinal cord hemorrhage	11 (19.6)	23 (12.6)	2 (66.7)	6 (22.2)
Cord sectioning	2 (3.6)	4 (2.2)	0	1 (3.7)
Compression: no	17 (30.4)	62 (33.9)	2 (66.7)	9 (33.3)
Compression: yes	39 (69.6)	121 (66.1)	1 (33.3)	18 (66.7)
Intact ligaments	25 (44.6)	120 (66.3)	1 (33.3)	14 (51.8)
Disruption of ligaments	31 (55.4)	61 (33.7)	2 (66.6)	13 (48.2)

**Table 3** General characteristics of the different groups.

	Age		+65 years		Gender: male		MRI within 24 h	
	mean $\pm$ SD	p	N (%)	p	N (%)	p	N (%)	p
Normal pattern	54.7 $\pm$ 18.6		3 (33.3)		8 (88.9)		8 (88.9)	
Single-level edema	59.0 $\pm$ 19.3		53 (43.1)		95 (77.2)		97 (78.9)	
Multilevel edema	63.7 $\pm$ 18.2	0.006	44 (50)	0.070	38 (57.6)	0.262	63 (71.6)	0.266
Hemorrhage	51.4 $\pm$ 21.7		12 (28.6)		33 (78.6)		35 (83.3)	
Cord sectioning	53.9 $\pm$ 24.1		2 (28.6)		5 (71.4)		5 (71.4)	
Compression: no	57.4 $\pm$ 18.3	0.330	32 (35.6)	0.131	70 (77.8)	0.576	68 (75.6)	0.632
Compression: yes	59.9 $\pm$ 20.5		82 (45.8)		131 (73.2)		140 (78.2)	
Intact ligaments	61.4 $\pm$ 19.0	0.017	73 (45.6)	0.353	119 (74.4)	0.911	118 (73.8)	0.023
Disruption of ligaments	55.8 $\pm$ 20.5		41 (38.3)		80 (74.8)		90 (84.1)	

were the youngest ( $51.4 \pm 21.7$  years). However, on analyzing the sample by age groups, no differences were observed according to whether the patients were under or over 65 years of age ( $p = 0.070$ ). On the other hand, age was found to be significantly lower among the individuals with DVL versus those without ligament damage ( $p = 0.013$ ). With regard to gender, none of the groups presented important differences.

On considering comorbidities (Table 4), the Charlson index scores were similar in all the groups, with no significant differences among them. With regard to concomitant lesions, we detected a significantly greater percentage of fractures in the group of hemorrhagic injuries ( $p < 0.001$ ) and in the cases presenting DVL ( $p < 0.001$ ) and SCC ( $p = 0.016$ ). Associated lesions were also more frequent in the individuals with hemorrhagic injuries ( $p = 0.007$ ) and DVL ( $p = 0.022$ ), though no differences were recorded according to whether SCC was present or not ( $p = 0.518$ ).

In our study sample, 53.5% of the patients ( $n = 144$ ) required admission to the ICU. Of these, 47.9% were admitted in the first 24 h after injury, and 35.4% between 24–48 h post-injury. A total of 26 patients died during hospital admission, representing a global mortality rate of 9.7%, with four deaths in the first 24 h and three between the first and seventh day.

Based on the collected data, we examined the alterations associated with increased mortality and the need for admission to the ICU (Table 5). In this regard, although the mortality risk was found to be greater among the individuals with hemorrhagic injuries, no significant differences were

observed ( $p = 0.125$ ). We did record a significant increase in mortality among the patients with SCC ( $p = 0.003$ ) and DVL ( $p = 0.013$ ) compared with those without such lesions. The percentage of individuals admitted to the ICU was also significantly higher in the cases of DVL ( $p < 0.001$ ) and SCC ( $p = 0.020$ ) versus the cases without such lesions. Likewise, a lesser need for ICU admission was observed among the subjects with single-level edema versus those with more extensive edema and with spinal cord hemorrhage ( $p = 0.018$ ).

## Discussion

The present study was designed to evaluate the usefulness of alterations identified by MRI performed in the first hours following TSCI, with a view to offering a new tool capable of complementing the already known prognostic factors, and specifically analyzing the parenchymal lesion patterns and extramedullary alterations.

In our sample, the most frequent parenchymal pattern was single-level edema (45.7%), in contrast to the findings of other studies in which greater percentages of multilevel edema were observed. This could be explained by the fact that the mentioned studies performed MRI in later stages of spinal cord injury. It is now known that the development of changes in MRI signal following TSCI takes place in the course of the first few days, with an increase in most cases of the length of edema after the first 24 h.<sup>22</sup> In this regard, the meta-analysis conducted in 2011 by Bozzo<sup>8</sup> documented

**Table 4** Comorbidities in the different groups.

	Charlson		Associated lesion		Vertebral lesion	
	mean $\pm$ SD	p	N (%)	p	N (%)	p
Normal pattern	0.7 $\pm$ 0.9		2 (22.2)		5 (55.6)	
Single-level edema	0.7 $\pm$ 1.2		45 (36.6)		68 (55.3)	
Multilevel edema	0.7 $\pm$ 1.4	0.623	40 (45.4)	0.007	58 (65.9)	<0.001
Hemorrhage	0.4 $\pm$ 0.7		27 (64.3)		39 (92.8)	
Cord sectioning	0.4 $\pm$ 0.8		4 (57.1)		6 (85.7)	
Compression: no	0.5 $\pm$ 1.2	0.180	37 (41.1)	0.518	50 (55.6)	0.016
Compression: yes	0.7 $\pm$ 1.1		81 (45.2)		126 (70.4)	
Intact ligaments	0.7 $\pm$ 1.3	0.169	61 (38.1)	0.022	77 (48.1)	<0.001
Disruption of ligaments	0.5 $\pm$ 1.0		56 (52.3)		98 (91.6)	

**Table 5** Analysis of the risk of admission to the ICU and mortality according to the data obtained from the MRI scan.

	ICU no	ICU yes	p	Death	No death	p
	N (%)	N (%)		N (%)	N (%)	
Normal pattern	8 (88.9)	1 (11.1)		0	9 (100)	
Single-level edema	66 (53.7)	57 (46.3)		8 (6.5)	115 (93.5)	
Multilevel edema	35 (39.8)	53 (60.2)	0.018	11 (12.5)	77 (87.5)	0.125
Hemorrhage	13 (31.0)	29 (69.0)		7 (16.7)	35 (83.3)	
Cord sectioning	3 (42.9)	4 (57.1)		0	7 (100)	
Compression: no	52 (57.8)	38 (42.2)	0.020	2 (2.2)	88 (97.2)	0.003
Compression: yes	73 (41.1)	106 (58.9)		24 (13.4)	155 (86.6)	
Intact ligaments	89 (55.6)	71 (44.4)	< 0.001	10 (6.2)	150 (93.8)	0.013
Disruption of ligaments	35 (32.7)	72 (67.3)		16 (15.0)	91 (85.0)	

ICU: Intensive Care Unit; MRI: magnetic resonance imaging.

higher percentages of hemorrhagic lesions than in our sample (between 22–32%), with the exception of one of the documented studies.<sup>23</sup>

Incomplete cervical injuries were the most common presentation, in coincidence with the findings of other studies - this circumstance being related to the increase in TSCI secondary to low-energy falls among elderly individuals.<sup>24,25</sup> This could account for the older mean age of the patients with spinal cord edema compared with those presenting a hemorrhagic pattern. In effect, while edema is more commonly seen in the elderly, hemorrhagic patterns are generally associated with greater energy traumas such as falls from a height or traffic accidents, which are more frequent in younger individuals.<sup>26</sup>

In the present sample, the patients were admitted to the ICU always after due assessment by the SCIU at our center. The time elapsed from injury to ICU admission may seem long, though it must be pointed out that since ours is a reference center, the recorded period covers care at the site of the accident, transfer to the nearest hospital, the care received at that hospital, and subsequent transfer to our center.

An important aspect drawn from the analysis is the greater need for ICU admission among the patients with DVL, SCC and spinal cord hemorrhage. The reason for this is largely the fact that these disorders are usually associated with greater energy traumas, and therefore more often involve concomitant injuries that increase the sever-

ity of the patient. Nevertheless, although the presence of SCC and DVL was effectively seen to increase the mortality rate, the same cannot be said of the hemorrhagic parenchymal lesions. This observation seems to be related to the younger mean age of the individuals with hemorrhagic lesions compared with the other patterns, especially multilevel spinal cord edema, where the mean patient age was 10 years older - since in TSCI, as in any other disease condition, advancing age significantly increases the mortality rate.

It could be postulated that the energy of the traumatism and not the MRI alterations as such would justify the increased mortality. However, this hypothesis was evaluated by McCarthy et al.,<sup>27</sup> who found no significant differences - though their study assessed the long-term outcome in a small sample of patients. The authors themselves pointed out that classification of the injuries as corresponding to high/low energy is rather arbitrary - making it difficult to carry out studies in this respect. Our review of the literature yielded no other studies evaluating this hypothesis.

The mortality rate in our sample was 9.7%, with only 1.5% corresponding to the first day. These figures are lower than those described in other studies, though we have no information corresponding to the pre-hospital phase. Studies such as those included in the review by Hagen et al.<sup>28</sup> have reported diverse pre- and in-hospital mortality figures, and in all cases these figures were higher than in our study. However, the different characteristics of the samples and the different

epochs and healthcare systems involved make it difficult to establish comparisons.

An interesting article was published by Lalwani et al.<sup>29</sup> involving cases from a Forensic Medicine Department, with the selection of deceased individuals presenting spinal cord damage. The authors evaluated mortality during the different phases of medical care. A total of 16.13% of the deaths occurred during phase 2, which covered the period between patient arrival in the Emergency Department and admission to the ICU / hospital ward. The greatest proportion of deaths (over 70%) occurred during patient stay in the hospital ward. This study moreover found that mortality during the first phases was largely due to hemodynamic instability and head injuries, while in the later phases it was secondary to respiratory disorders.

We have found practically no morbidity-mortality publications with objectives comparable to those of our study, since most articles involve longer-term follow-up and few have analyzed the relationship with MRI characteristics. In the same way as in our study, Selden et al.,<sup>30</sup> with a sample smaller than our own, recorded a poorer prognosis among individuals with multilevel spinal cord edema, hemorrhage and SCC. However, the main aim of their study was to assess neurological recovery, not morbidity-mortality.

## Limitations

The present study has focused on MRI imaging analysis. Although other prognostic factors could have been investigated, such as those described in the Introduction, we have preferred to limit ourselves to the objectives of the study in order to avoid confounding factors.

The criterion for acute TSCI patient admission to the ICU is not regulated by strict protocols, and in some centers it is conditioned by the acute TSCI care model in force; the results therefore might not be fully extrapolatable to samples from other centers. In our case, we followed the recommendations of the international organisms.

## Conclusions

The MRI imaging patterns of parenchymal lesions afford information on the need for patient admission to the ICU – the risk being higher among individuals with multilevel edema and intraparenchymal hemorrhage. Likewise, the presence of other extramedullary MRI alterations (DVL and SCC) implies an increased risk of mortality and the need for admission to the ICU. In this regard, it has been seen that MRI performed in the first 72 h after TSCI affords information on the vital prognosis of the patient, and is of help in planning management during the acute phase.

## Contribution of the authors

RMB contributed to the conception and design of the study, and to the drafting of the manuscript.

OVM contributed to data acquisition and interpretation.

SPG performed the statistical analysis.

RMMF and ARS approved the final draft of the manuscript.

MEFV and SSB contributed to data acquisition.

AMM contributed to the conception of the study and critical review.

## Financial support

None.

## Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

## References

1. Hachem LD, Ahuja CS, Fehlings MG. Assessment and management of acute spinal cord injury: from point of injury to rehabilitation. *J Spinal Cord Med.* 2017;40:665–75.
2. Neumann CR, Brasil AV, Albers F. Risk factors for mortality in traumatic cervical spinal cord injury: Brazilian data. *J Trauma.* 2009;67:67–70.
3. Beom JY, Seo HY. The need for early tracheostomy in patients with traumatic cervical cord injury. *Clin Orthop Surg.* 2018;10:191–6.
4. Grossman RG, Frankowski RF, Burau KD, Toups EG, Crommett JW, Johnson MM, et al. Incidence and severity of acute complications after spinal cord injury. *J Neurosurg Spine.* 2012;17:119–28.
5. DiMarco AF, Dawson NV. Risk factors for mortality in spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2014;37:670–1.
6. Burns ASMR, Flanders AE, Kramer J, Flett H. Predicting outcome following traumatic spinal cord injury. In: Kirshblum S, Lin V, editors. *Spinal cord medicine*. 2nd edn. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011. p. 119–35.
7. Lammertse D, Dungan D, Dreisbach J, Falci S, Flanders A, Marino R, et al. Rehabilitation NioDa. Neuroimaging in traumatic spinal cord injury: an evidence-based review for clinical practice and research. *J Spinal Cord Med.* 2007;30:205–14.
8. Bozzo A, Marcoux J, Radhakrishna M, Pelletier J, Goulet B. The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury. *J Neurotrauma.* 2011;28:1401–11.
9. Kulkarni MV, Bondurant FJ, Rose SL, Narayana PA. 1.5 tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma. *Radiographics.* 1988;8:1059–82.
10. Bondurant FJ, Cotler HB, Kulkarni MV, McArdle CB, Harris JH. Acute spinal cord injury. A study using physical examination and magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990;15:161–8.
11. Schaefer DM, Flanders AE, Osterholm JL, Northrup BE. Prognostic significance of magnetic resonance imaging in the acute phase of cervical spine injury. *J Neurosurg.* 1992;76:218–23.
12. Flanders AE, Spettell CM, Friedman DP, Marino RJ, Herbinson GJ. The relationship between the functional abilities of patients with cervical spinal cord injury and the severity of damage revealed by MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1999;20:926–34.
13. Boldin C, Raith J, Fankhauser F, Haunschild C, Schwantzer G, Schweighofer F. Predicting neurologic recovery in cervical spinal cord injury with postoperative MR imaging. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31:554–9.
14. Qiu Z, Wang F, Hong Y, Zhang H, Li X, et al. Clinical predictors of neurological outcome within 72 h after traumatic cervical spinal cord injury. *Sci Rep.* 2016;6:38909.
15. Fehlings MG, Rao SC, Tator CH, Skaf G, Arnold P, Benzel E, et al. The optimal radiologic method for assessing spinal canal compromise and cord compression in patients with cervical

- spinal cord injury. Part II: results of a multicenter study. *Spine* (Phila Pa 1976). 1999;24:605–13.
16. Martínez-Pérez R, Cepeda S, Paredes I, Alen JF, Lagares A. MRI prognostication factors in the setting of cervical spinal cord injury secondary to trauma. *World Neurosurg*. 2017;101:623–32.
  17. Martínez-Pérez R, Munarriz PM, Paredes I, Cotrina J, Lagares A. Cervical spinal cord injury without computed tomography evidence of trauma in adults: magnetic resonance imaging prognostic factors. *World Neurosurg*. 2017;99:192–9.
  18. Martínez-Pérez R, Paredes I, Cepeda S, Ramos A, Castaño-León AM, García-Fuentes C, et al. Spinal cord injury after blunt cervical spine trauma: correlation of soft-tissue damage and extension of lesion. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;35:1029–34.
  19. Lomoschitz FM, Blackmore CC, Mirza SK, Mann FA. Cervical spine injury in patients 65 years old and older: epidemiologic analysis regarding the effects of age and injury mechanism on distribution, type, and stability of injuries. *AJR*. 2002;178:573–7.
  20. Arul K, Ge L, Ikpeze TBA, Mesfin A. Traumatic spinal cord injuries in geriatric population: etiology, management and complications. *J Spine Surg*. 2019;5:38–45.
  21. Kirshblum SC, Waring W, Biering-Sorensen F, Burns SP, Johansen M, Schmidt-Read M, et al. Reference for the 2011 revision of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. *J Spinal Cord Med*. 2011;34:547–54.
  22. Leybold BG, Flanders AE, Burns AS. The early evolution of spinal cord lesions on MR imaging following traumatic spinal cord injury. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008;29:1012–6. <http://dx.doi.org/10.3174/ajnrA0962>.
  23. Shimada K, Tokioka T. Sequential MR studies of cervical cord injury: correlation with neurological damage and clinical outcome. *Spinal Cord*. 1999;37:410–5.
  24. Knútsdóttir S, Thórisdóttir H, Sigvaldason K, Jónsson H Jr, Björnsson A, Ingvarsson P. Epidemiology of traumatic spinal cord injuries in Iceland from 1975 to 2009. *Spinal Cord*. 2012;50:123–6.
  25. Bárbara-Bataller E, Méndez-Suárez JL, Alemán-Sánchez C, Sánchez-Enríquez J, Sosa-Henríquez M. Change in the profile of traumatic spinal cord injury over 15 years in Spain. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2018;26:27.
  26. Montoto-Marqués A, Ferreiro-Velasco ME, Salvador-de la Barrera S, Balboa-Barreiro V, Rodríguez-Sotillo A, Meijide-Failde R. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Galicia, Spain: trends over a 20-year period. *Spinal Cord*. 2017;55:588–94.
  27. McCarthy MJ, Gatehouse S, Steel M, Goss B, Williams R. The influence of the energy of trauma, the timing of decompression, and the impact of grade of SCI on outcome. *Evid Based Spine Care J*. 2011;2:11–7.
  28. Hagen EM. How to prevent early mortality due to spinal cord injuries? New evidence & update. *Indian J Med Res*. 2014;140:5–7.
  29. Lalwani S, Singh V, Trikha V, Sharma V, Kumar S, Bagla R, et al. Mortality profile of patients with traumatic spinal injuries at a level I trauma care centre in India. *Indian J Med Res*. 2014;140:40–5.
  30. Selden NR, Quint D, Patel N, d'Arcy HS, Papadopoulos SM. Emergency magnetic resonance imaging of cervical spinal cord injuries: clinical correlation and prognosis. *Neurosurgery*. 1999;44:785–92.

## **6** **Discusión**



## 6. Discusión

Este estudio confirma y amplía el conocimiento sobre la utilidad y fiabilidad de la RM de cara a la valoración del pronóstico neurológico en los casos de LMT aguda, dado que se constata la existencia de una relación entre los 5 patrones de lesión del parénquima medular en la imagen de RM realizada al momento del ingreso y el pronóstico neurológico. La comprensión de esta relación resulta de utilidad de cara a la valoración en la fase aguda de los pacientes con LMT, no sólo por su valor diagnóstico, sino también por su capacidad para ayudar en la planificación y al manejo inicial.

Los resultados muestran una buena correlación entre los diferentes patrones de lesión en la imagen de RM y los diferentes grados de lesión medular y el IM, y lo mismo sucede con la evolución neurológica de los individuos lesionados. De igual manera, los resultados verifican que los casos de LMT con lesiones extraparenquimatosas, tanto compresión del cordón medular como lesiones en el complejo ligamentoso vertebral posterior, se asocian con la presencia de lesiones medulares completas e IM más bajos y también con una menor probabilidad de presentar mejorías en el grado AIS y el propio IM.

Finalmente los resultados manifiestan que el riesgo de precisar ingreso en UCI de los individuos con LMT aguda se relaciona con los patrones de edema multinivel y hemorragia intraparenquimatosa, así como con la existencia de las citadas alteraciones extramedulares, las cuales han demostrado además relacionarse con un incremento de la mortalidad

En este estudio se ha analizado una muestra global de 296 individuos con LM, lo que constituye una cifra superior a la que proponen la mayoría de trabajos que se han consultado. Asimismo, se trata de una muestra procedente de un único centro

hospitalario, lo que implica una mayor uniformidad en los criterios de ingreso, el manejo en planta, la indicación y tiempos de las pruebas de imagen y también en los tratamientos y terapias realizados a lo largo del ingreso. Se da asimismo la peculiaridad de que durante el periodo a estudio el equipo facultativo de la ULM se ha mantenido estable, lo que maximiza esta uniformidad y otorga un mayor valor a las conclusiones.

Si bien los avances más recientes se han considerado prometedores en muchos aspectos, la LM es una patología sobre la que todavía es preciso aumentar nuestros conocimientos, especialmente sobre lo que respecta a los cambios fisiopatológicos a corto y largo plazo, para permitirnos así una mejor valoración del pronóstico e incluso de los tratamientos a realizar. Al ser su prevalencia afortunadamente baja, si bien cada vez se tiende más a seguir protocolos y unificar criterios, la evidencia disponible hasta la fecha es en general baja. No hace mucho tiempo se publicó una amplia revisión en la que se evaluó la evidencia existente sobre un buen número de temas, y la conclusión podría resumirse en que muy pocas de las actuaciones que se realizan en pacientes lesionados medulares han demostrado un buen nivel de evidencia, e incluso en lo referente a las más globalmente aceptadas los datos no permiten realizar aseveraciones contundentes (167). En lo referente al tema que nos compete, la importancia de la RM precoz en el pronóstico neurológico, los resultados no fueron la excepción, determinándose un nivel de evidencia bajo. No obstante, al tratarse de procedimientos no invasivos, se considera que los riesgos superan a los beneficios, con lo que el estudio de RM sigue considerándose una herramienta importante de cara a la atención médica de los individuos con LM.

De forma general, la población estudiada presentaba unas características sociodemográficas muy similares a las de la mayoría de muestras presentadas en estudios recientes realizados en zonas con un nivel de desarrollo alto: la edad media es

relativamente elevada (20, 168), el sexo masculino es el predominante (169) y existe un porcentaje elevado de lesiones cervicales incompletas, fenómeno que diversos autores han relacionado con la mayor incidencia de lesiones secundarias a caídas de baja energía en individuos ancianos (170-172), algo cada vez más frecuente en las sociedades desarrolladas.

## 6.1 Epidemiología de las alteraciones de RM

Los casos recopilados en el presente trabajo demuestran una clara preponderancia del patrón de edema (78,4%) sobre el resto. En general, la inmensa mayoría de trabajos describen este mismo fenómeno, si bien los porcentajes son habitualmente algo menores. Por ejemplo, en la muestra de Parashari (173) el edema era también el patrón más frecuente, pero con un porcentaje del 41,5% y sin especificar en este caso el tamaño de los mismos. Por otro lado, se obtuvieron unos porcentajes del 33% de hemorragias y del 26% de casos con patrón medular normal. Este trabajo contabilizó además un 5% de edema epidural, subtipo que no fue incluido dentro de nuestro planteamiento por considerarla una alteración extraparenquimatosa y no intramedular.

En el metaanálisis liderado por Bozzo (128), si bien los artículos analizado no son en todos los casos comparables a los del estudio que aquí se presenta, puesto que varios analizan solamente tetraplejias y los tiempos de obtención de las imágenes son más amplios, fue en todos los casos el patrón de edema el más frecuente, si bien en el mismo los porcentajes de hemorragia han sido en todos los casos superiores a los de la presente muestra (del 22 al 32%) a excepción del artículo de Shimada (146) que presentaba un

porcentaje del 13%. Otra diferencia importante entre la población que aquí se ha analizado y las utilizadas en el citado metaanálisis es que en todas ellas, a excepción de una (147), existía un mayor porcentaje de edemas multinivel que a un nivel. Este hecho podría deberse en parte a que durante el transcurso de los primeros días tras una LM traumática se producen de forma gradual cambios en la señal del parénquima, lo que se refleja en las imágenes obtenidas mediante RM, siendo frecuente el aumento del tamaño de los edemas y las hemorragias, tal y como se asevera en un artículo de Leypold y cols.(107). Al contrario que en el presente trabajo, en todos los recopilados en el metaanálisis, de nuevo con la salvedad de uno de ellos, los lesionados se sometieron al estudio de RM tras un periodo de al menos 48 horas desde el momento de la lesión.

Otra diferencia que llama la atención es la baja frecuencia de los patrones normales en nuestra muestra en comparación con la mayoría de artículos consultados. No obstante, es preciso tener en cuenta muchos de estos trabajos son bastante antiguos (145, 147, 174), y desde su publicación el salto tecnológico ha sido grande, con lo que es probable que alteraciones de señal de tamaño reducido, que a día de hoy resulta posible identificar fácilmente, en su día hubiesen sido pasadas por alto. Esto se puede observar si comparamos por ejemplo el trabajo de Tewari y cols. de 2005, donde el porcentaje de SCIWNA era del 12% (175), y el trabajo publicado años más tarde, en 2013, por Boese y Lechler , en el que la cifra era del 7,1% (176).

Analizando otros trabajos más recientes se pueden encontrar también frecuencias muy superiores al 3,4% del presente estudio, como es el caso del artículo de 2019 de Naik, cuyo porcentaje de SCIWNA fue del 22,8% (177) o el de Magu de 2015, que presentó una incidencia del 28,1% (178). También se ha encontrado un artículo liderado por Sigh en el que se menciona un porcentaje muy superior, pero sin embargo la muestra del mismo es

muy pequeña y algunos de los resultados que presentan difieren demasiado de los del resto de trabajo publicados sobre el tema (124). Llama la atención que todas estas muestras procedan del mismo país (India), repitiéndose además algunos de los investigadores. Esta discordancia entre los datos podría ser debida tanto a un sobrediagnóstico por su parte como a un infradiagnóstico en nuestro sistema, el cual se podría justificar en el hecho de que los patrones normales se suelen asociar a lesiones incompletas con muy poca clínica neurológica (en la presente muestra todas estas lesiones eran grado AIS D), siendo posible que, en ocasiones, algunas puedan ser pasadas por alto o diagnosticadas con demora. El retardo diagnóstico es un fenómeno que en el centro en el que se desarrolla el presente trabajo ya ha sido registrado entre los lesionados medulares de edad avanzada, en los cuales la existencia de debilidad y comorbilidades previas interfiere en la exploración física y dificulta el diagnóstico del daño medular (179).

A la hora de valorar la estenosis medular, es preciso aclarar que existen dos tipos de compresión que han sido evaluados en los artículos consultados: la compresión del canal medular y la compresión del cordón medular. La opinión general, refrendada por publicaciones científicas, es que la compresión del canal se valora mejor mediante la imagen de TC, mientras que la RM resulta más útil para el estudio del cordón medular (180). No obstante, es preciso reconocer que algunos estudios han obtenido resultados significativos valorando el tamaño del canal medular por medio de la imagen de RM, como por ejemplo el trabajo de Yüksel que objetivó un peor pronóstico en los casos de estenosis de canal superiores al 40% (181). Sin embargo, al no haberse recogido este dato en el presente estudio no se incluyeron en la discusión los trabajos que sólo evalúan el canal medular.

En el presente trabajo, se ha utilizado para valorar la compresión medular el método de Fehlings. Este método es el más ampliamente extendido para la valoración de la estenosis medular y diferentes equipos investigadores han demostrado que su fiabilidad interobservador es buena. El propio equipo que desarrolló el método realizó poco tiempo después de su primera publicación un estudio para valorar su fiabilidad, comparando para ello las mediciones realizadas por 28 cirujanos y obteniendo buenos resultados tanto a la hora de valorar la compresión del canal como la del parénquima medular (182). En otro trabajo posterior los mismos investigadores evaluaron su fiabilidad tanto en imágenes de TC como de RM y ésta demostró ser buena en ambos casos (183).

Aparte de sus propios creadores, otros investigadores han sometido este método también a valoración. En 2013 un equipo liderado por Karpova evaluó la fiabilidad de estas mediciones en RM cervicales, apreciando un buen coeficiente de correlación intraclassa respecto a la medición del cordón medular y su estenosis, pero no logrando demostrar lo mismo en el caso del canal medular (184). Unos años más tarde, la misma investigadora que encabezó este trabajo repitió el mismo planteamiento evaluando en este caso la RM cuantitativa, y en esta ocasión, si bien el coeficiente de correlación resultó bueno, las medidas de la estenosis medular fueron las que peores cifras obtuvieron (185).

La muestra que se ha analizado presentó un porcentaje importante de compresiones medulares (68,9%), si bien es cierto que en la mayoría el porcentaje de compresión era bajo. Existen pocos trabajos de epidemiología que cuantifiquen la frecuencia y el grado de la compresión del cordón medular. La mayoría se centran en patología degenerativa (186), pero en relación al origen puramente traumático se menciona un porcentaje también muy bajo en el artículo de Ramón y cols (155), mientras que el de Qiu y cols. (152) presentó un porcentaje mucho más alto, aunque en éste último los criterios de

selección de pacientes no se explican con claridad.

El alto porcentaje de individuos que presentaban algún grado de compresión de cordón se relaciona con el elevado porcentaje de individuos que sufrieron alguna lesión vertebral, que fue del 65,5%. En la mayoría de los casos la fractura ósea y el consecuente desplazamiento de las estructuras óseas han sido la causa de esta compresión, aunque en otros la estenosis fue provocada por discopatía o por hipertrofia ligamentosa, que en algunos casos podrían haber estado presentes antes del traumatismo, desencadenándose el daño medular a partir de un movimiento brusco de flexoextensión cervical.

Al comparar la presencia de compresión con los diferentes patrones de lesión, se ha advertido la existencia de una relación significativa. Según esto, existe un mayor porcentaje de compresiones en los patrones de sección (100%), hemorragia (87,0%) y edema a varios niveles (77,3%), siendo mucho más bajo entre los patrones normal y de edema a un nivel. La explicación a este hecho podría estar en relación con la energía del traumatismo desencadenante, pues los patrones asociados a compresión, y sobre todo aquellos asociados a compresiones importantes, son aquellos que suelen suceder como consecuencia de un traumatismo de alta energía, que con mayor facilidad son causa de fracturas vertebrales que al desplazarse provocan la estenosis.

Un argumento más para apoyar esta hipótesis la encontramos al analizar las lesiones de ligamentos. Al cotejar este daño con los diferentes patrones de daño medular, obtenemos un resultado muy similar, existiendo un mayor porcentaje de roturas entre quienes presentaban sección medular (100%) o hemorragia (71,1%), y menor en edemas a un nivel (25,4%), aunque en este caso el porcentaje entre los edemas a múltiples niveles (40,4%) no fue demasiado alto. De la misma forma, si se valora la presencia de lesión

ligamentosa y compresión se aprecia una relación significativa, demostrándose que el 81,2% de quienes presentaban compresión medular habían sufrido también roturas en los ligamentos.

Tomadas en conjunto, todas estas observaciones nos permiten sugerir la existencia de una relación entre los traumatismos de mayor energía por un lado y por otra la presencia en los exámenes de RM de patrones de edema múltiple y hemorragia, así como compresión del cordón medular y lesión del complejo ligamentoso de la columna vertebral.

No se pueden realizar comparaciones sobre la epidemiología de las lesiones de ligamentos vertebrales puesto que no se han encontrado apenas trabajos que aporten los datos suficientes para analizar su frecuencia. Uno de los trabajos de Martínez Pérez menciona brevemente una frecuencia general de lesión de ligamentos del 57,1% (166) y en otro una frecuencia individualizada de cada ligamento estudiado que se encuentra entre el 48,1 y el 58,3% (164), cifras algo superiores a las registradas en la presente muestra pero con las que no es fácil establecer conclusiones dadas las diferencias existente entre las poblaciones, que en el artículo de Martínez Pérez presentaban una menor media de edad y además se incluían únicamente lesionados cervicales.

El análisis de la integridad de los ligamentos de la columna vertebral es relativamente sencillo cuando se cuenta con un estudio de RM, habiéndose calculado una muestra de pacientes una fiabilidad de entre el 91 y el 100% dependiendo del componente concreto evaluado (162), y en otra una superior al 80% para el ligamento longitudinal posterior y el sistema ligamentoso amarillo, aunque apreciándose una mayor especificidad que sensibilidad (187). Otros trabajos exponen cifras similares a estas últimas, aunque no especifican claramente el componente dañado, o bien de entre todo el sistema

ligamentoso sólo analizan el ligamento longitudinal anterior (188, 189). La aparición de nuevas secuencias de imagen y la mayor definición de los sistemas más modernos han permitido en los últimos años aumentar la precisión a la hora de evaluar estas lesiones (163). Así, de forma reciente, en el año 2020 un trabajo de Henninger y cols. (190) comparó los hallazgos de las imágenes de RM con las observaciones directas realizadas durante procedimientos quirúrgicos en 21 individuos con traumatismo cervical y lesión por hiperextensión, observando un 90,9% de concordancia entre ambos, remarcando la importancia de añadir al estudio la secuencia STIR.

## **6.2 Valor pronóstico de los patrones de lesión en RM**

La utilidad de la RM como apoyo para estimar el pronóstico tras una LM es una idea que se ha ido perfilando desde el artículo original de Kulkarni de 1988 (145), habiéndose publicado, sobre todo en los últimos años cada vez más estudios favorables. En 2007 se publicó una revisión en la que participaron especialistas de gran renombre, profesionales tanto del campo de la rehabilitación como de la neuroimagen, donde se estableció un nivel B de evidencia respecto a la función pronóstica de la RM en la LM (126). No obstante, desde ese año la cantidad de trabajos publicados ha aumentado de forma exponencial, con lo que es preciso realizar una revisión de los mismos.

El importante aumento de las publicaciones relacionadas con este tema en los últimos años podría deberse, como ya han comentado algunos expertos (191, 192), tanto a la

mejoría en la calidad de imagen de los aparatos durante los últimos años como a la mayor accesibilidad a los mismos en los centros hospitalarios de todo el mundo, lo que se refleja en el gran número de trabajos procedentes de países emergentes como Brasil, China e India.

En 2017 una guía en la que participaron importantes expertos de varias disciplinas que estudian la LM evaluó la evidencia disponible acerca de la utilidad de la RM en la atención aguda de esta patología (129). Esta guía estableció por un lado un grado muy bajo de evidencia respecto a la utilidad de la RM previa a la cirugía de cara a la toma de decisión terapéutica y por otro lado un grado bajo de evidencia respecto al uso de la RM, ya sea pre o postquirúrgica, para la estimación del pronóstico neurológico a medio-largo plazo. No obstante, los propios autores señalan como limitación al final de este trabajo la reciente aparición de varios estudios metodológicamente correctos sobre este mismo tema que no se pudieron tener en cuenta para la redacción de la guía.

En la muestra de individuos del presente trabajo existen una serie de puntos que es importante comentar antes de entrar a valorar los resultados obtenidos. De los cinco patrones de imagen, dos de ellos contaban con muy pocos individuos, por lo que no han sido incluidos en los análisis estadísticos. Sin embargo, pese a su baja muestra, podemos extraer algunas conclusiones dignas de mención.

Dentro del patrón de imagen normal se incluyeron solo 10 individuos, siendo todos ellos AIS D. Por lo general, el pronóstico de estas SCIWNA se considera bueno en todos los casos (128, 147), al igual que lo que se concluye en el presente trabajo, donde se ha demostrado una buena recuperación en estos individuos.

En el extremo opuesto, la sección completa fue un patrón detectado en muy pocos individuos, un total de 8, en los que se ha producido una disrupción total del parénquima,

donde todos eran AIS A. Para que tenga lugar una sección completa es necesario un impacto de alta energía, que se confirma por la presencia en todos ellos de lesión ósea vertebral, estenosis del canal medular y disrupción ligamentosa de algún tipo. Resulta llamativo asimismo que un 75% de los casos recopilados hayan sido paraplejas. Este hecho puede deberse precisamente a la alta energía que se precisa para que se produzca una sección completa del parénquima (193). Si estos traumatismos de alta energía ocurriesen a nivel cervical, con gran probabilidad concurrirían con lesiones de gravedad a otros niveles que podrían ser causa de éxitus precoz, como por ejemplo TCE graves, lesiones de las arterias carótidas o sección del nervio vago. Asimismo, es preciso tener en consideración el daño que se podría producir a nivel del parénquima medular en las vías y centros relacionados con la respiración, que potencialmente podrían causar un paro respiratorio de forma inmediata o en cuestión de minutos. En este caso no se han encontrado artículos que apoyen esta teoría, probablemente por la dificultad para realizarlos, pues resulta complicado establecer el diagnóstico de LM en un éxitus extrahospitalario. Lo más parecido que se ha encontrado es un trabajo de Shao y cols. (194) en el que se analizó la mortalidad producida durante los primeros 30 días tras una LM traumática, observando un mayor número de fallecimientos entre los individuos con lesión completa y nivel cervical alto (C1-3 en su estudio).

Los otros tres patrones de imagen en RM que se establecen en este trabajo presentaban muestras mucho más amplias, permitiéndonos realizar un correcto análisis estadístico. En primer lugar, es importante comentar las diferencias detectadas en los perfiles demográficos de los tres grupos. Las diferencias en las edades medias de los lesionados han sido significativamente diferentes, siendo más jóvenes los pacientes con lesión hemorrágica, sobre todo en comparación con el edema multinivel, cuya muestra es la de mayor edad media. Varios trabajos han demostrado que los traumatismos de alta energía,

los que se producen por ejemplo a consecuencia de accidentes de tráfico, caídas de altura o accidentes laborales son más frecuentes en edades más jóvenes (19, 195-197), lo que justificaría esta diferencia de edad.

La misma explicación nos sirve para justificar la existencia de un menor porcentaje de mujeres entre las lesiones hemorrágicas. Además de a edades jóvenes, los traumatismos de alta energía se asocian con mayor frecuencia a varones (198). En cambio, la ratio de sexos es más próximo entre quienes presentan edema multinivel, que como ya hemos explicado es el grupo de mayor edad. Trabajos publicados han observado que entre los lesionados de mayor edad la ratio de sexos es más pareja (179), debiéndose esto a la disminución en adultos mayores de ciertas conductas de riesgo asociadas clásicamente a los varones (conducción a alta velocidad, trabajo en alturas...), y también a la mayor esperanza de vida en el sexo femenino.

A la hora de analizar la evolución neurológica, hay que tener en cuenta en todo momento lo que se ha explicado anteriormente, que el grado AIS valorado en el momento agudo se sigue considerando el principal factor predictor tanto de la recuperación neurológica como de la funcional, así como de la capacidad de deambulación (25, 57, 199). No obstante, es conveniente recordar que la valoración AIS precisa, además de los conocimientos por parte del explorador, una buena capacidad de colaboración por parte del paciente. No es nada extraordinario que en el momento agudo los pacientes con LM traumática presenten algún grado de deterioro del nivel de consciencia, por lo que resulta importante contar con métodos alternativos de valoración que nos permitan al menos estimar una evolución aguda-subaguda. También resultaría de gran utilidad de cara a la valoración de pacientes pediátricos o individuos con deterioro cognitivo previo (200).

Un factor de confusión que hemos hallado al comparar los tres grupos mayoritarios ha

sido el elevado número de AIS D entre los individuos con edema a un nivel. En las lesiones AIS D se produce un efecto techo, de forma que el porcentaje de pacientes que mejoran su grado de lesión es el más bajo de entre todos los grados, algo que en el presente trabajo se aprecia de forma marcada, pues sólo el 7% de los grados D se convirtieron en E. Este efecto ha sido ya descrito con anterioridad (63, 71) y se debe a que el único grado que mejora el AIS D es el AIS E, el cual implica una recuperación total del déficit, algo que sucede en muy pocos casos. Por este motivo, se ha repetido el análisis prescindiendo de los AIS D, lo que ha aumentado de forma marcada el porcentaje de mejoría al comparar los diferentes grupos.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo parecen concordar con los de la mayoría de publicaciones existentes sobre el tema, incluso aquellos realizados hace más de 20 años, pero en este caso se dispone de una base amplia que ha permitido realizar un análisis uni y multivariante. De esta forma, si bien el grado AIS al ingreso se ha impuesto como el factor pronóstico más importante, el patrón de lesión ha demostrado una buena evidencia de cara a predecir mejorías en el grado AIS. En el caso de las variaciones del IM, aunque en el análisis univariante se ha apreciado un buen valor pronóstico, esto no se ha observado en el análisis multivariante.

En la misma línea que este trabajo, una reciente publicación (201) con un planteamiento muy similar, pero en el que sólo se recopilaron lesiones cervicales, observó en una cohorte algo menor a la que aquí se presenta unos resultados comparables. En este caso también se realizó un análisis univariante y multivariante que objetivó una correlación negativa de la mejoría exploratoria tanto con la presencia de hemorragia como con la extensión del edema. Al igual que en el presente estudio, sus conclusiones coinciden en que el grado AIS inicial es el mejor predictor de recuperación neurológica valorando tanto

la mejoría del grado AIS como del IM.

Wilson y cols. (202) publicaron un artículo en el que sobre una base de más de 300 pacientes trataron de desarrollar una fórmula para predecir el grado de independencia y el valor de la parte motora del FIM en los pacientes con LM al año de la lesión. Para ello analizaron varios factores, observando un peor pronóstico entre los que presentaban edema y hemorragia al compararlos con quienes no presentaban alteración de señal en RM. Sin embargo, el *p* valor de este parámetro no alcanzó datos de significación estadística, a pesar de lo cual fue añadido a la fórmula desarrollada. Los factores que se asociaron a un mejor pronóstico fueron el grado AIS ( $D > C > B > A$ ), las edades jóvenes y el hecho de presentar un IM al ingreso superior a 50 puntos; todos ellos logrando demostrar unas diferencias estadísticamente significativas.

En el año 2017 fue publicada una nueva revisión sistemática (203) que evaluó de nuevo la evidencia existente sobre el tema que estamos analizando. Dicho trabajo determinó un grado de evidencia moderada sobre la existencia de un peor pronóstico entre quienes presentan hemorragias medulares de gran tamaño, valorando el grado de lesión en el momento agudo y su variación a lo largo del ingreso. A esta conclusión se llegó gracias a los datos del ya mencionado trabajo de Boldin (151). El resto de conclusiones del trabajo presentaron un nivel de evidencia bajo o muy bajo, como por ejemplo el peor pronóstico en los casos de edema medular de mayor extensión y en las hemorragias de menor tamaño.

Más reciente todavía es otra revisión de 2020 (204), en este caso incluyendo sólo individuos tetrapléjicos. Los autores de la misma concluyeron, al igual que en nuestra muestra, que el pronóstico en cuanto a recuperación, valorando los cambios producidos en los parámetros analizados durante la exploración neurológica según la AIS, es peor en

las hemorragias, sobre todo en las más extensas, y en los edemas de mayor tamaño.

Se han valorado asimismo estudios individuales en los que, si bien la metodología no es siempre comparable a la que se ha utilizado en el presente trabajo, las conclusiones en general fueron similares, remarcando tanto la existencia de un peor pronóstico en los edemas extensos (178, 205-207) como en los casos de sangrado intramedular (155, 160, 177, 206, 208, 209).

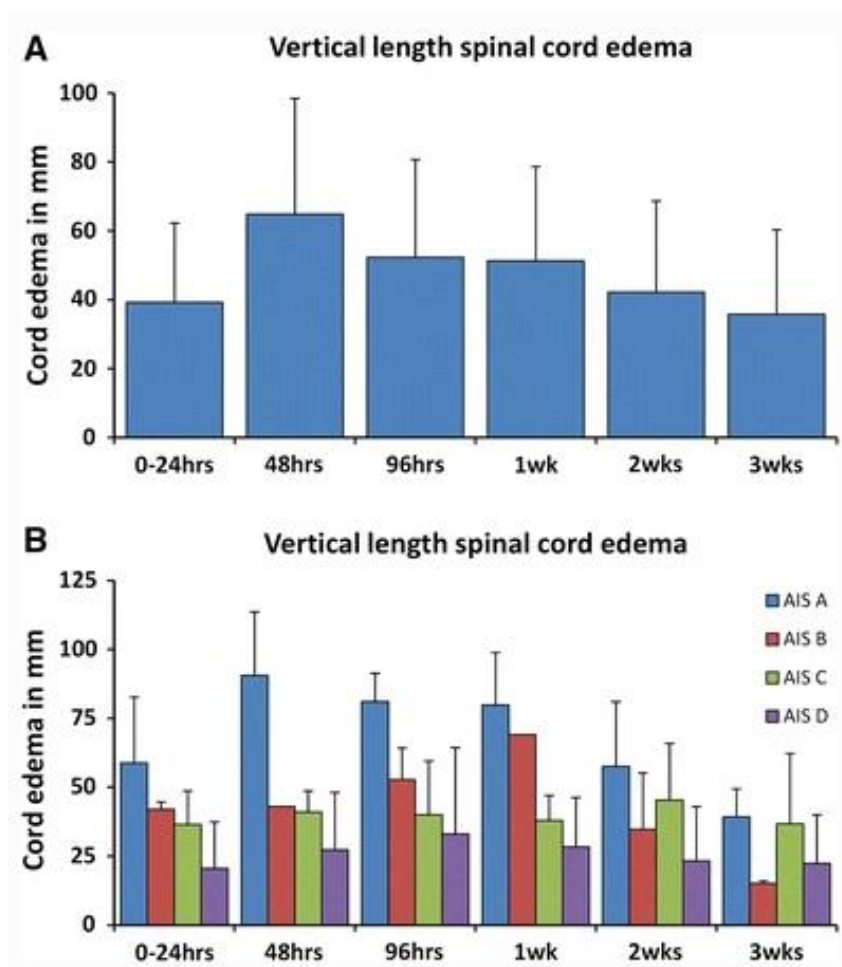
En discrepancia con las publicaciones mencionadas se encuentra un artículo de Aarabi y *cols.*, realizado en pacientes intervenidos de descompresión medular (210). En este caso se observó que el mejor predictor de la variación del AIS era la longitud del edema sagital, siendo incluso más específico que el grado AIS al ingreso. Sin embargo, se trata de la única publicación que se ha encontrado que defiende esta conclusión.

Un dato importante a tener en cuenta a la hora de valorar las imágenes de RM es, como ya se ha mencionado anteriormente, el tiempo de realización de la misma. En los estudios anteriormente descritos los métodos son muy variados. La mayoría de consensos recomiendan realizar la toma de imágenes en la etapa aguda, pero evitando las primeras horas, pues la señal de la lesión sufre una evolución dinámica durante los primeros días. En el artículo de Leypold y *cols.* que ya se ha mencionado con anterioridad (107) se observó en un número pequeño de pacientes, pero demostrando resultados significativos, un crecimiento de los edemas en LM muy agudas al repetir la RM una media de 72h después de la primera. Matsushita y *cols.* (211) evaluaron esto mismo en un trabajo más amplio y concluyeron que resultan de mayor utilidad de cara al pronóstico las pruebas realizadas entre 24 y 48h si se compara con las realizadas en las primeras 24h. Otro artículo del mismo año de Rutges y *cols.* (212) presentó mediciones sobre la evolución de los diferentes patrones, objetivando que los edemas aumentan de tamaño sobre todo

durante las primeras 48h y empiezan a decrecer a las 3 semanas (si bien existe cierta variabilidad dependiendo del grado AIS, al igual que señala también un estudio de Le y cols. (213)), y que en el caso particular de las hemorragias el crecimiento se produce sobre todo entre los días 2 y 7, disminuyendo a partir de la segunda semanas (Gráfico 3). Esta variación en la longitud del edema puede observarse en un caso recopilado en nuestra muestra en la Figura 13.

En el caso del presente trabajo, la inmensa mayoría de estudios se realizaron en las primeras 48 horas, sin haberse detectado diferencias importantes en los tiempos de realización en los grupos conformados. Esto se debe a que las guías utilizadas en práctica clínica remarcan la importancia de someter a los lesionados a un examen de RM lo más pronto posible para respaldar la toma de decisiones (129), por lo que en la ULM del CHUAC se realiza siempre que es posible el estudio al momento de su llegada a urgencias, siendo con frecuencia en las horas posteriores complicado repetir el estudio por la necesidad de minimizar las transferencias de los pacientes, que con frecuencia se encuentran inestables y precisan monitorización.

En fechas más reciente se han publicado otros trabajos que se han centrado, no tanto en las mediciones en el eje sagital, sino en las imágenes del eje axial. En base a esta premisa se desarrolló en un trabajo del año 2015 la denominada escala BASIC (214), que divide las lesiones en grados de 0-4 según la superficie abarcada por la alteración de la señal en el eje axial y la presencia de sangrados. Esta escala ha probado una relación significativa con el grado AIS al ingreso y también con la evolución del mismo.



**Gráfico 3. Variación en el tiempo de la longitud del edema medular**

Extraído de: Rutges JPHJ y cols. A prospective serial MRI study following acute traumatic cervical spinal cord injury. Eur Spine J. 2017;26(9):2324-32.

Publicaciones posteriores que se valieron de esta escala han corroborado su utilidad como factor pronóstico (215), situándola incluso por encima de la imagen en eje sagital (161). Incluso en trabajos que no utilizan de forma específica la escala BASIC, la valoración de la imagen en el eje axial ha demostrado una importante influencia en el pronóstico (216). De forma reciente se publicó un artículo en el que se evaluó la capacidad de deambular 150 pies (75,72m) en individuos con LM al año de la lesión, comparando los resultados con el grado de daño del cordón medular valorado en el plano

axial, midiendo el porcentaje de superficie parenquimatosa dañada en la proyección T2. Las conclusiones del artículo fueron que el porcentaje de tejido dañado era inversamente proporcional a la capacidad de deambulaci3n (217). En base a todos estos resultados, las guías más recientes recomiendan realizar siempre proyecciones de RM en el eje axial además de en el longitudinal (112, 218), algo que de todas formas se realiza de forma rutinaria en nuestro centro. Pese a haber demostrado su utilidad, la exploraci3n física sigue demostrando un valor superior como factor pron3stico al de cualquiera de estas mediciones (219)

Otros investigadores se han preocupado, en cambio, de valorar la utilidad de la RM en fases más tardías para evaluar la atrofia de cord3n (220). Las primeras publicaciones al respecto datan ya del pasado siglo (137), donde se describi3 la formaci3n de cavidades quísticas dentro del parénquima tras la LM aguda y se mensur3 en la proyecci3n sagital el espesor de los tejidos sanos colindantes preservados, que denominaron “puentes tisulares” (221). De esta forma se observ3 que el tamaño de estos puentes era menor entre los pacientes con peor evoluci3n neurol3gica, sobre todo remarcando la importancia de preservar el tracto corticoespinal (141). Estos datos llevaron a sugerir la importancia de realizar no sólo una RM en los primeros días tras la lesi3n, sino también una nueva prueba a las 3-4 semanas para la valoraci3n de los tejidos preservados y la atrofia del parénquima circundante, que permitiría afinar todavía más en la estimaci3n del pron3stico (112, 222). No obstante, estos trabajos han sido escasos y no todos ellos han conseguido demostrar una significaci3n estadística (223).



**Figura 13: Evolución de una LM con edema medular en un mismo paciente a las 24h y a los 30 días**

Sin tratar exactamente sobre este tema, pero también en relación con las mediciones del cordón medular en la imagen sagital, en el año 2021 un equipo liderado por Jin propuso y evaluó, en una muestra de individuos con tetraplejia, otras mediciones que podrían ofrecer información sobre el pronóstico de estas lesiones. Según los datos presentados, las mediciones propuestas demostraron una relación significativa con el pronóstico neurológico de los lesionados (224). Estas mediciones, enunciada por primera vez en este trabajo, fueron el área medular disponible máxima y el área máxima de edema medular. No obstante, se trata de unos parámetros sobre los que las investigaciones todavía están dando inicio.

### 6.3 Valor pronóstico de la compresión medular

La compresión del cordón ha sido un factor analizado en muchos trabajos incluyendo varios de los mencionados en el punto anterior, siendo considerado en alguno de ellos como un patrón de imagen de lesión independiente (155). No obstante, los miembros del equipo investigador hemos decidido no clasificarlo como patrón de imagen, pues se trata de una alteración extramedular que no siempre implica la existencia de una LM y que, en caso de que ésta se haya producido, puede coexistir con cualquiera de los otros patrones de lesión.

En 2017, la revisión publicada por Kurpad y cols. (203) valoró, entre otros factores pronósticos en la LM la compresión del cordón medular, no pudiendo demostrarse su valor como factor pronóstico ni a nivel neurológico ni funcional. Los autores refieren como posible justificación que los estudios consultados fueron realizados sobre muestras

pequeñas y que existe mucha heterogeneidad en la toma de medidas.

En un reciente artículo de Martineau (201), metodológicamente similar al presente, aunque incluyendo únicamente lesiones cervicales, se cuantificó también la compresión del cordón medular utilizando el método de Fehlings y se cotejó con la evolución del IM y el grado AIS en la LMT aguda. Este análisis, sí observó una significativa relación entre la presencia de compresión y los cambios en el IM, pero no ocurrió así en el caso del grado AIS.

Quienes sí concluyeron que existían diferencias significativas en cuanto a evolución del AIS en función de la existencia de compresión fueron Miyajima y cols. (225). En su trabajo se observaron diferencias significativas en el pronóstico tanto al valorar la compresión del canal medular como el de la propia medula, aunque el *p* valor demostró una relación menor que la existente entre la evolución y la presencia de hemorragia intramedular o el grado de lesión al momento del ingreso.

Un posible factor de confusión que debemos analizar es el diferente porcentaje de lesiones completas, que es tres veces superior en el grupo con compresión medular. Este mismo fenómeno ya fue señalado por Skeers y cols. (226) dentro de una población de parapléjicos, así como por Ter Haar y cols. (160) en una de tetrapléjicos. En nuestra muestra, al evaluar de forma desglosada el grado AIS se ha objetivado en los grupos establecidos por grado de lesión, a excepción del caso del AIS B (cuya muestra es baja), un mayor porcentaje de mejoría entre los lesionados que no presentaban compresión medular, si bien sólo pudieron demostrarse diferencias significativas en los AIS C, aparentemente por la baja muestra en algunos de los grupos. No obstante, al analizar de forma conjunta a los individuos con mayor probabilidad de mejoría (AIS A-C) sí se pudo obtener un valor que certifica que entre los individuos sin compresión la posibilidad de

mejorar el AIS es superior.

En la revisión de Tarawneh y cols. de 2020 (204) sobre los factores pronósticos relacionados con la RM en LM se observó, respecto a la presencia de compresión medular, que en 2 de los 3 trabajos seleccionados se podía confirmar, al igual que en el presente trabajo, la existencia de una correlación negativa entre la presencia de compresión medular y la evolución neurológica. Otros trabajos llegaron a esta misma conclusión como el de Magu (178), si bien sus muestras eran menores y no incluyeron en sus análisis posibles factores de confusión como el grado AIS y el patrón de lesión.

Resultan interesantes las conclusiones del artículo de Farhadi (227), metodológicamente similar al que aquí se presenta. En este trabajo se evaluaron los cambios en el grado de lesión en función de determinados parámetros de la imagen de RM y si bien se demostró cierto grado de influencia de la estenosis tanto medular como de canal, en el análisis global su utilidad como factor pronóstico resultó mucho menor que el de las alteraciones del patrón medular.

Otro trabajo más reciente (228) evaluó varios factores, tanto relacionados con la RM como con la TC, realizando un seguimiento de los pacientes durante una media de 30 meses. En el análisis univariante se observó una buena relación entre la exploración AIS al ingreso y la presencia de compresión del cordón medular, no ocurriendo lo mismo con la estenosis del canal. No obstante, esto no se pudo refrendar en el análisis multivariante, donde la longitud del edema resultó ser el único factor que demostró una relación estadísticamente significativa. En el análisis del pronóstico tampoco se demostró una relación con la compresión del cordón o del canal medular, y fue nuevamente la longitud del edema el factor que pudo demostrar una influencia significativa en el pronóstico, tanto en el análisis univariante como en el multivariante.

Uno de los problemas que afecta al presente trabajo se deriva de la evolución que se produce a lo largo de las primeras horas en la lesión radiológica. En este caso la mayoría de las RM fueron realizadas dentro de las primeras 24h, mientras que de forma general en los otros trabajos suelen realizarse entre 24y 72h tras la LM. En este sentido, se podría comparar el presente estudio con otro realizado en un servicio de Urgencias sobre un total de 55 individuos (229). En este trabajo se concluyó también que la presencia de compresión medular se asocia a un peor pronóstico neurológico. Sin embargo, la muestra presentada era pequeña y el análisis estadístico muy básico.

## **6.4 Valor pronóstico de la lesión ligamentosa vertebral**

Las lesiones del complejo ligamentoso posterior revisten una gran importancia en la evaluación de una LM traumática. De entrada, su repercusión sobre la estabilidad de la columna vertebral en los casos de lesiones óseas es manifiesta, reduciéndose el riesgo de desplazamientos en el foco de fractura cuando existe una integridad ligamentosa, motivo por el que la evaluación del estado del componente ligamentoso forma parte de los protocolos de estudio que se utilizan para decidir el manejo a seguir y la indicación quirúrgica de los traumatismos vertebrales, como ocurre por ejemplo con la clasificación TLICS (230). Sin embargo, en los casos de SCIWORA las investigaciones han detectado también una alta incidencia de roturas de ligamentos (231).

Tomando esto aparte, la presencia de lesión de ligamentos también ha sido evaluada

como un posible factor pronóstico de cara a la evolución neurológica en la LMT. No obstante, es preciso remarcar que, en comparación con las otras alteraciones evaluadas, han sido pocos los trabajos realizados sobre este tema hasta la fecha. Las primeras referencias al respecto nos retrotraen al trabajo de Song y cols. (232) realizado en 2008. En esta publicación, cuyo objetivo era formular una clasificación para valorar el daño de los tejidos blandos vertebrales, objetivaron que se producía un mayor número de lesiones del parénquima medular en los casos en que el daño de los ligamentos era más severo. Esta misma observación se repite en nuestra muestra, donde los pacientes sin alteración de la señal parenquimatosa o con edemas de escasa longitud sagital presentaban afectación de los ligamentos con mucha menor frecuencia en comparación con los edemas multinivel o las hemorragias medulares.

En relación a este mismo punto, en el año 2013 Boese y cols, realizaron una revisión sobre la evidencia respecto a la importancia de la RM en los SCIWORA, donde uno de los factores analizados eran las alteraciones extraparenquimatosas, aunque es preciso aclarar que las lesiones ligamentosas no eran lo único que se incluía bajo este epígrafe. No obstante, el trabajo recopiló una muestra numerosa de pacientes con SCIWORA y permitió determinar que quienes presentaban una lesión extraparenquimatosa presentaban una peor evolución neurológica (176).

El autor que ha publicado los únicos artículos que hemos encontrado que se centran únicamente en el análisis de la relación entre el daño de los tejidos blandos y el pronóstico de la LM traumática es Martínez-Pérez. Todos los trabajos encabezados por este investigador fueron realizados sobre poblaciones de individuos con lesiones cervicales en fase aguda. En el primero de ellos (164) se evaluó la longitud de la lesión en relación al daño de las estructuras ligamentosas, logrando demostrar una relación

directamente proporcional entre ambas y extrapolando esta observación con otros trabajos publicados que relacionaban el tamaño de la lesión con el pronóstico de recuperación. Como gran ventaja del estudio del daño de los tejidos blandos en comparación con otros hallazgos radiológicos, los autores defienden que la rotura de ligamentos no es un proceso dinámico y no se ve tan influido por una posible demora a la hora de realizar los estudios de imagen como podría ocurrir en el caso de las alteraciones de la señal medular, que como ya se ha visto sufren cambios importantes a lo largo de la fase aguda de la LM.

En el año 2017 dos nuevos trabajos de este mismo autor fueron publicados. En uno de ellos se evaluó la imagen de RM de 48 pacientes con SCIWORA a nivel cervical, valorando a lo largo de su evolución si se producían mejorías del grado AIS (165). El trabajo demostró una tendencia a mejorar más el AIS entre quienes no presentaban afectación de ligamentos, si bien, posiblemente debido al bajo tamaño muestral, sólo se alcanzaron cifras significativas en el caso de las disrupciones del sistema ligamentoso amarillo ( $p=0,05$ ). La segunda publicación recopiló casos de individuos con LM incompleta y lesión ósea vertebral evaluando también la mejoría del grado AIS en la fase aguda (166). En este caso, el análisis univariante demostró la influencia en el pronóstico de la lesión del sistema ligamentoso amarillo y del ligamento longitudinal anterior, así como de la longitud del edema y la luxación de facetas. De esta forma se concluyó que la presencia de lesiones en los tejidos blandos se asociaba a una menor posibilidad de mejorar el grado de lesión. Sin embargo, el análisis multivariante de los datos no pudo demostrar la superioridad de esta alteración sobre otras a la hora de evaluar su papel como factor pronóstico.

En la presente muestra, la lesión de tejidos blandos, sin especificar qué ligamento se

afecta, ha demostrado una relación significativa con la evolución neurológica, medida mediante las variaciones del grado AIS y el IM. Se podría, sin embargo, aducir que los dos grupos que se compararon en este caso, formados por pacientes con y sin lesión de ligamentos, presentaban varias diferencias importantes, pues si bien eran comparables en cuanto a índice de Charlson y sexo, presentaban diferencias significativas en cuanto a edad, nivel de lesión y el resto de variables evaluadas. No obstante, el motivo de estas diferencias parece relacionarse una vez más con la intensidad del traumatismo desencadenante. La energía necesaria para provocar una lesión ligamentosa es elevada, pues estas estructuras proporcionan a la estructura de la columna vertebral gran parte de su resistencia (233). Por este motivo, individuos con lesión de elementos ligamentosos presentan con mayor frecuencia fracturas óseas y lesiones asociadas, de la misma forma que precisan en un mayor porcentaje el ingreso en unidades de cuidados críticos, siendo además la tasa de mortalidad de estos individuos más alta. En el caso de la edad, es inferior entre los lesionados con daño ligamentoso, lo que se relaciona, como ya se ha mencionado en puntos anteriores, con el hecho de que los pacientes jóvenes presentan más traumatismos de alta energía que los mayores (171).

En el caso del grado AIS, también se aprecia un reparto desigual de los grados en ambos grupos, siendo superior entre los que concurren con lesión de tejidos blandos probablemente por el mismo motivo. No obstante, al realizar el análisis de forma independiente en los diferentes grados AIS (lo que no ha sido realizado en ningún otro trabajo publicado), se pudo observar la existencia, en todos los casos, de un mayor porcentaje de individuos con mejoría neurológica entre quienes no presentaban lesión de ligamentos, incluso a pesar de presentar una mayor media de edad; si bien es cierto que el tamaño de la muestra no nos permite hablar de diferencias significativas.

También es preciso aclarar que las diferencias existentes en el IM inicial se justifican en gran parte por el mayor porcentaje de lesiones completas entre los pacientes con lesión de tejidos blandos, incluso a pesar de que éstos presentan menos tetraplejas que el grupo control. En cuanto a la evolución de la misma, la variación del IM presentó cifras más altas entre los individuos sin lesión de ligamentos, lo que corrobora nuestra hipótesis de que la existencia de daño ligamentoso empeora el pronóstico neurológico de los lesionados medulares.

## 6.5 Mortalidad

En la muestra analizada la mortalidad absoluta fue del 10,8%, con una media de 23,7 días desde la lesión hasta el fallecimiento. El porcentaje de éxitus en las primeras 24h fue de sólo el 1,4%. Las cifras en general son bajas comparadas con las de otras muestras similares (194, 234, 235), si bien los criterios de inclusión varían mucho en los diferentes trabajos. En la presente muestra, por ejemplo, sólo se incluyeron los pacientes que pudieron llegar a un centro hospitalario, no contando por lo tanto con los datos referentes a la mortalidad prehospitalaria, al habernos resultado imposible conseguir estos datos por no existir un registro al que pudiésemos acceder. A este respecto resulta interesante comentar los hallazgos del equipo de Lalwani (236) cuyos datos fueron extraídos de un departamento de medicina forense. En este trabajo se seleccionaron de entre los individuos fallecidos aquellos que presentaban un daño medular, y de esta forma, los autores desgranaron la mortalidad de los lesionados medulares a lo largo de las diferentes fases de la atención médica. Sus observaciones indicaron que, durante lo que

ellos definen como *fase 2*, la que abarca el tiempo transcurrido desde la llegada del paciente a Urgencias hasta el paso a UCI o planta de hospitalización, se producían sólo el 16,13% de los fallecimientos, ocurriendo la mayor parte, más del 70%, durante la fase posterior, correspondiente al ingreso hospitalario. En este trabajo se objetivó asimismo que los fallecimientos ocurridos durante las fases iniciales eran debidos en su mayoría a inestabilidad hemodinámica o TCE, mientras que en etapas posteriores se debían fundamentalmente a complicaciones respiratorias.

Otros estudios comparables, como los que se recogen en la revisión realizada por Hagen (237), revelaron cifras muy diversas respecto a la mortalidad prehospitalaria y hospitalaria, que fueron en todos los casos superiores a las obtenidas en la presente investigación. Sin embargo, las diferentes características de la muestra y las distintas épocas y sistemas de salud en que se realizaron los estudios no permiten realizar comparaciones válidas.

En un artículo de Varma y cols. (234) se analizaron los posibles factores de riesgo de mortalidad aguda tras una LM traumática a lo largo del ingreso agudo, hallando que la edad avanzada, el sexo masculino, la presencia de TCE y determinadas comorbilidades incrementaban de forma significativa la mortalidad. También el grado Frankel (equiparable al grado AIS) demostró una relación con el riesgo de fallecimiento, siendo mayor entre las lesiones completas, pero no se pudo demostrar lo mismo en el caso del nivel de lesión. A conclusiones similares llegó el trabajo más reciente de Shibahashi y cols. (235), donde, aparte de los factores ya señalados por Varma, se apreció un alto valor predictivo de la mortalidad con la hipotensión arterial y la bradicardia durante las primeras horas tras la lesión. En el caso del grado de lesión los datos demostraron una mayor mortalidad entre los lesionados AIS A. Nuevamente no se objetivaron diferencias al evaluar por nivel de lesión. Como contrapartida, el trabajo de Shao y cols. (194) en el que se analizó la

mortalidad ocurrida durante los primeros 30 días tras la una LMT reveló un mayor porcentaje de éxitus entre los casos con lesión completa y nivel cervical alto (C1-3 en su estudio), así como en aquellos que no fueron sometidos a intervención quirúrgica por sus fracturas vertebrales y en los que presentaban datos analíticos de malnutrición.

No se han encontrado estudios en los que se analice la relación entre la mortalidad y la imagen de RM. Nuestras cifras muestran un índice de mortalidad superior entre los individuos con patrones de lesión habitualmente asociados a traumatismos de alta energía, que no sólo provocan daños a nivel medular, sino que con frecuencia se asocian a lesiones en otras localizaciones. De esta forma, la mortalidad fue del 17,4% en los lesionados con hemorragia intraparenquimatosa a pesar de presenta una menor edad media en comparación con quienes presentaban edema medular a un nivel. En el caso de los edemas a varios niveles las cifras de mortalidad fueron discretamente inferiores a la de los hemorrágicos (14,4%), pero en este caso la edad media de la muestra era la más alta entre todos los grupos establecidos, asociando asimismo valores más altos en el índice de comorbilidad de Charlson.

De la misma forma, tanto la presencia de rotura ligamentosa como de compresión del cordón medular se asociaron también a una mayor incidencia tanto de éxitus como de ingreso en UCI.

## 6.6 Nuevos horizontes

### 6.6.1 RM funcional

De forma reciente ha surgido un nuevo elemento con posible valor pronóstico en relación a los estudios de RM. Se trata de la RM funcional que, según estudios preliminares, permitiría obtener imágenes de la alteración existente en la conectividad funcional, entre los circuitos neuronales, en los casos de lesión de la médula espinal, así como realizar un seguimiento de la recuperación de estas lesiones.

En trabajos como por ejemplo el de D'Souza y cols. se ha comprobado que la anisotropía fraccional de la imagen de DTI se relaciona de forma significativa con el grado de la lesión, y por extensión esto nos permitiría correlacionarlo también con el pronóstico evolutivo (238). Sobre la misma idea trabajaron Shabani y cols., en este caso estableciendo como objetivo principal la evaluación de su influencia en el pronóstico neurológico. Pese a la pequeña muestra, de solo 3 individuos, los datos demostraron que la anisotropía fraccional medida en la DTI se correlacionaba bien con el pronóstico neurológico (analizando la mejoría del grado AIS) en las lesiones a nivel cervical, aunque esto, sin embargo, no se pudo probar en lesiones a nivel torácico (239).

### 6.6.2 Otros marcadores pronósticos en la LMT

#### **Parámetros analíticos**

En los últimos 15 años, varios grupos investigadores se han analizado diferentes parámetros analíticos para tratar de relacionarlos con la recuperación neurológica tras una LM. Si bien la mayoría de estudios han sido realizados sobre poblaciones pequeñas, los

resultados han sido en muchos casos significativos, lo que ha abierto una prometedora línea de investigación. Los valores de determinadas citocinas y proteínas en el Líquido Cefalorraquídeo (LCR) han demostrado una relación significativa con el grado AIS y la evolución neurológica (240-245). Pese a lo prometedora que parece esta línea de investigación, el elevado precio de los materiales necesarios constituye una gran limitación para la realización de nuevos estudios, y los trabajos al respecto se han realizado sobre muestras de pacientes pequeñas.

Aparte de parámetros analíticos del LCR, también se han realizado investigaciones respecto concentraciones séricas de determinados elementos, como por ejemplo la concentración de la proteína Nogo-A o el zinc, demostrándose también un valor predictivo de ambos respecto a la evolución neurológica (246-248).

## **Genética**

El análisis genético aplicado a la LM ha sido otro tema estudiado en los últimos años. Los investigadores han tratado de identificar la existencia de genes asociados a una mejor o peor evolución neurológica, siendo uno de los más estudiados el gen de la apolipoproteína E épsilon 4, que ha sido señalada en estudios como un marcador de mal pronóstico en cuanto a recuperación motora y estancia media hospitalaria, si bien en cambio parece predecir una mejor recuperación del índice sensitivo (249-251). En vista de estos resultados, varios autores han sugerido como posible diana terapéutica el bloqueo de este gen y de la proteína que codifica, y ya han sido planteados trabajos al respecto (252).

## 6.7 Limitaciones del estudio

Si bien para la realización del presente estudio se han utilizado las mayores garantías a nivel metodológico, existen una serie de posibles sesgos que es importante señalar.

### ***Sesgo de selección***

La población a estudio en el presente trabajo se puede considerar bastante uniforme, si se han detectado ciertas diferencias que es preciso dar a conocer antes de extraer conclusiones.

La mayor discrepancia que se ha encontrado entre los diferentes grupos establecidos es la que se refiere a las características de la LM. En el caso del grado, es un hecho conocido y que se ha visto en los resultados, que determinados patrones, así como la presencia de lesiones extramedulares, se asocian a lesiones de grado AIS A. Para no permitir que esto confunda las conclusiones se han realizado en todo caso los análisis de forma global pero también analizando por separado cada uno de los grados, objetivándose así que en la inmensa prácticamente todos los casos la evolución neurológica fue peor los casos de hemorragia medular, compresión y rotura de ligamentos, independientemente del grado de lesión que presentasen.

En relación con el nivel ya se ha realizado en la introducción una revisión de los estudios que valoran la influencia del nivel en la evolución. En general, los resultados son mixtos, incluso estudios amplios y realizados recientemente divergen en sus conclusiones (50, 73). Quizás el más destacable pueda ser la revisión de 2020 de Marino y *co/s.* en la que se calculó que existía una posibilidad 1.98 veces menor de pasar de grado completo a incompleto en las paraplejas altas (D1 a D10) al compararse con las paraplejas bajas y

una posibilidad 3.81 menor con respecto a las tetraplejas (76). En el presente trabajo, al haberse simplificado los niveles en tetrapleja y parapleja las diferencias se verían reducidas, pero pese a todo, nos vemos obligados a reconocer que existen diferencias significativas, especialmente dentro de los individuos clasificados según su patrón de lesión, lo que efectivamente puede constituir un sesgo dentro de la muestra.

Este sesgo repercute de forma especialmente importante en los análisis del IM, puesto que en los pacientes con parapleja, salvo en casos muy concretos en los que el individuo con LM presentase alguna otra lesión concomitante (es importante recordar que los casos con alteraciones previas fueron excluidos de la muestra), los lesiones parten siempre de una base de 50 puntos de IM, a diferencia de las tetraplejas, que podrían partir incluso de 0 puntos. Es por este motivo por lo que para el presente estudio se decidió realizar análisis valorando no sólo la cifra global del IM sino también el porcentaje de cambio, lo que corrige al menos en parte el posible error derivado. La utilidad de esto se hace patente en los análisis de la evolución del IM al clasificar los casos por presencia de compresión medular y lesión ligamentosa, en los que sólo se hallaron diferencias significativas al evaluar el porcentaje de cambio y no en las diferencias brutas.

En los análisis de funcionalidad son esperables grandes diferencias entre pacientes con tetrapleja y parapleja (253), pues en los individuos que presentan una afectación de las extremidades superiores es esperable apreciar una disminución importante en los resultados en las escalas de funcionalidad. Por este motivo se ha decidido no analizar escalas de funcionalidad.

Existen también diferencias en algunos de los grupos con respecto a la edad. Ya hemos visto en la introducción que los datos de los estudios publicados al respecto son confusos, si bien en general parecen inclinarse a que sí existe un peor pronóstico entre individuos

de mayor edad. Si bien las medias de edad no demostraron grandes diferencias al dividirlos por compresión medular, los grupos conformados por presencia de lesión ligamentosa y patrón de lesión sí demostraron diferencias significativas. No obstante, en este caso eran justamente los grupos que presentaban alteraciones de la neuroimagen asociadas a una evolución menos favorable (aquellos con hemorragia medular y lesión ligamentosa) quienes presentaban edades más jóvenes.

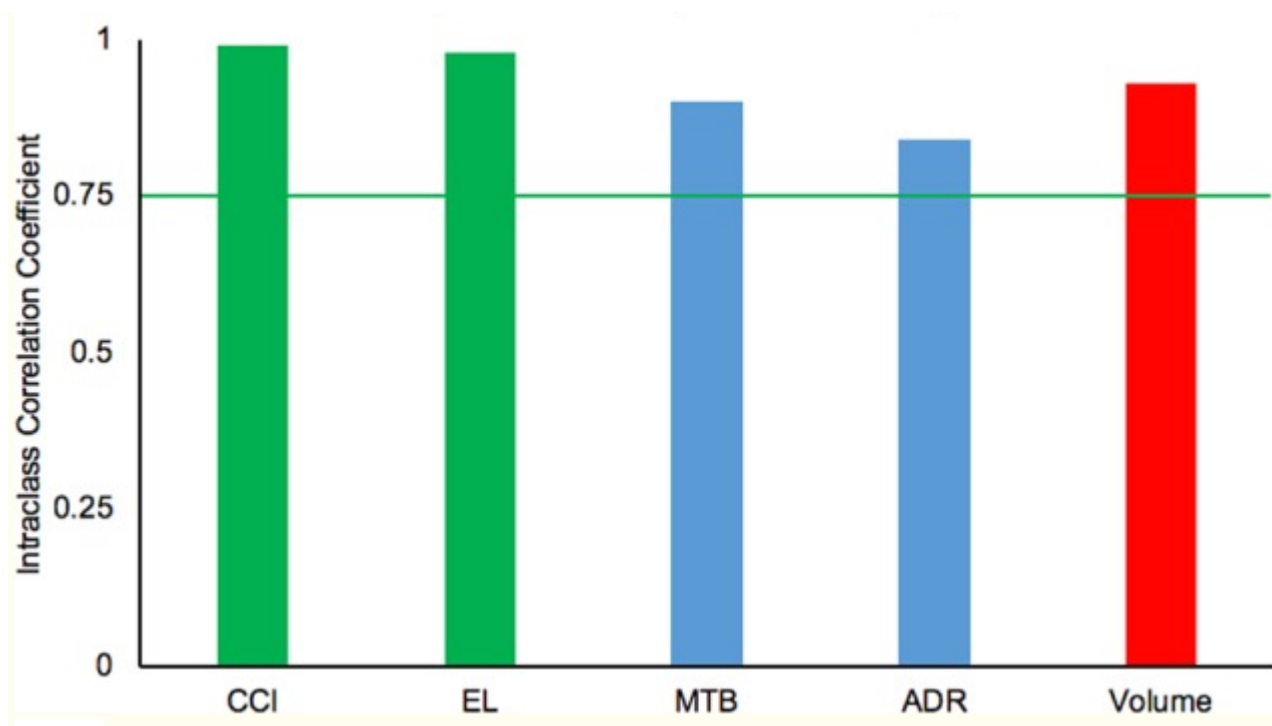
Se han publicado un buen número de estudios respecto a las diferencias en cuanto a evolución neurológica en los casos en que se realiza cirugía descompresiva precoz (97, 98, 254, 255). Parte (aunque no todos) de estos trabajos han establecido que existe una mejor evolución en las lesiones sometidas a cirugía dentro de las primeras 24h. En este caso no creemos que esto pueda suponer un sesgo del presente estudio puesto que, si bien un porcentaje importante de los individuos fueron sometidos a cirugía, en ningún caso se realizó una intervención dentro de las primeras 24h.

Por último, si bien es cierto que en algunos subgrupos de patrones de imagen existe un mayor porcentaje de mujeres, no se han apreciado diferencias significativas en cuanto a ratio de sexos entre los diferentes grupos constituidos. Tampoco al realizarse los análisis univariante o multivariante se han advertido diferencias, motivo por el que no consideramos que este factor pueda suponer un sesgo en el presente trabajo.

### ***Sesgo de análisis de la imagen***

A la hora de valorar los resultados del estudio, cabe preguntarse en primer lugar cuál es la fiabilidad de las mediciones realizadas por los profesionales sanitarios, estén o no especializados en la interpretación de la neuroimagen. En este sentido conviene mencionar un estudio liderado por Cummins en el que se compararon las mediciones realizadas por diferentes facultativos en imágenes que presentaban alteraciones de la

señal intramedular. Este trabajo objetivó una alta o excelente fiabilidad de las mismas en todos los casos, como se aprecia en el Gráfico 4 (256).



**Gráfico 4: Fiabilidad interobservador de las mediciones manuales realizadas en RM de LMT**

CCI: Cranial/Caudal level of Involvement (nivel craneocaudal de implicación). EL: Edema Length (longitud del edema). MTB: Midsagittal Tissue Bridge (puentes tisulares sagitales). ADR: Axial Damage Ratios (ratios de daño axial)

Extraído de: Cummins DP, Connor JR, Heller KA, et al. Establishing the inter-rater reliability of spinal cord damage manual measurement using magnetic resonance imaging. Spinal Cord Ser Cases. 2019;5:20.

Los protocolos de la ULM remarcan la importancia de realizar una RM en todos los pacientes lo antes posible, si bien como ya se ha mencionado, ciertos estudios indican que la imagen de la RM no es estática (107), experimentando cambios especialmente a lo largo de las primeras horas. En la mayoría de pacientes de la primera muestra se ha realizado un único estudio de RM realizada en prácticamente 3 cuartas partes de los casos durante las primeras 24-48 horas, sin haberse repetido después de 72 horas como algunas guías recomiendan.



# **7 Conclusiones**



## 7. Conclusiones

- 1) Se constata la existencia de una relación entre los patrones de lesión medular en la imagen de RM al momento del ingreso y el pronóstico neurológico de la LMT aguda, aunque su valor resulte inferior al del grado de lesión en los momentos iniciales. El conocimiento de esta relación resulta de utilidad de cara a la valoración de los pacientes con LMT aguda, no sólo por su valor diagnóstico, sino también por su capacidad para ayudar en la planificación y el manejo durante la fase aguda, así como para predecir el pronóstico a largo plazo.
  
- 2) Los patrones de lesión parenquimatosa en RM tras una LMT aguda presentan una buena correlación con el grado de lesión medular, existiendo un alto porcentaje de lesiones completas entre los individuos con hemorragia medular, moderado en los casos de edemas a múltiples niveles y bajo entre los edemas de tamaño inferior a un nivel. Estos mismos patrones han demostrado una relación significativa con el IM, siendo sus valores al ingreso más altos en los casos de edema a un nivel en comparación con los edemas a varios niveles y las hemorragias medulares. Un bajo porcentaje de lesiones sin alteración del parénquima medular son completas, presentando en general una buena recuperación neurológica durante la fase aguda. Las secciones medulares implican la existencia de lesiones completas y apenas presentan mejoría durante el proceso rehabilitador.

- 3) Existe buena correlación entre los patrones de lesión parenquimatosa objetivados en la imagen de RM y la evolución neurológica de los individuos con LMT. Así, las LMT con patrón hemorrágico tienen una menor posibilidad de mejorar el grado AIS y el IM. Los pacientes con edema a un nivel mejoran en mayor medida que aquellos que presentan patrón de edemas de mayor extensión.
- 4) Los casos de LMT con compresión del cordón medular se asocian a lesiones completas e IM más bajos. Independientemente del grado de lesión, estos pacientes tienen menores posibilidades de mejorar su exploración neurológica.
- 5) La existencia de rotura en el complejo ligamentoso posterior de la columna se asocia con mayor frecuencia a lesiones completas y conlleva una menor probabilidad de mejora del grado AIS y el IM.
- 6) De entre los patrones de lesión medular en imagen de RM, el edema multinivel y la hemorragia intraparenquimatosa se asocian a una mayor probabilidad de ingreso en UCI. La presencia de alteraciones extramedulares en RM, tanto compresión medular como disrupción de ligamentos vertebrales, implica un mayor riesgo de mortalidad y necesidad de ingreso en UCI.

## **8 Bibliografía**



## 8. Bibliografía

1. Sezer N, Akkus S, Uğurlu FG. Chronic complications of spinal cord injury. *World J Orthop.* 2015;6(1):24-33.
2. Krause JS, Cao Y, DiPiro ND. The relationship of secondary and chronic health conditions with emergency department visits and related hospitalizations among people with traumatic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2022;S0003-9993(22)00414-2.
3. Strøm V, Månum 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.
4. WHO. Spinal Cord Injury 2013 [Available online at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>].
5. Lee BB, Cripps RA, Fitzharris M, Wing PC. The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology: update 2011, global incidence rate. *Spinal Cord.* 2014;52(2):110-6.
6. Cripps RA, Lee BB, Wing P, Weerts E, Mackay J, Brown D. A global map for traumatic spinal cord injury epidemiology: towards a living data repository for injury prevention. *Spinal Cord.* 2011;49(4):493-501.
7. Van den Berg ME, Castellote JM, Mahillo-Fernandez I, de Pedro-Cuesta J. Incidence of spinal cord injury worldwide: a systematic review. *Neuroepidemiology.* 2010;34(3):184-92.
8. Ackery A, Tator C, Krassioukov A. A global perspective on spinal cord injury epidemiology. *J Neurotrauma.* 2004;21(10):1355-70.
9. Zileli M, Osorio-Fonseca E, Konovalov N, Cardenas-Jalabe C, Kaprovoy S, Mlyavykh S, et al. Early Management of Cervical Spine Trauma: WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine.* 2020;17(4):710-22.
10. Furlan JC, Sakakibara BM, Miller WC, Krassioukov AV. Global incidence and prevalence of traumatic spinal cord injury. *Can J Neurol Sci.* 2013;40(4):456-64.
11. Ho CH, Wuermser LA, Priebe MM, Chiodo AE, Scelza WM, Kirshblum SC. Spinal cord injury medicine. 1. Epidemiology and classification. *Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88(3 Suppl 1):S49-54.
12. Mitchell J, Nunnerley J, Frampton C, Croot T, Patel A, Schouten R. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in New Zealand (2007-2016). *N Z Med J.* 2020;133(1509):47-57.
13. Bjørnshave Noe B, Mikkelsen EM, Hansen RM, Thygesen M, Hagen EM. Incidence of traumatic spinal cord injury in Denmark, 1990-2012: a hospital-based study. *Spinal Cord.* 2015;53(6).
14. Löfvenmark I, Norrbrink C, Nilsson-Wikmar L, Hultling C, Chakandinakira S, Hasselberg M. Traumatic spinal cord injury in Botswana: characteristics, aetiology and mortality. *Spinal Cord.* 2015;53(2):150-4.
15. Singh A, Tetreault L, Kalsi-Ryan S, Nouri A, Fehlings MG. Global prevalence and

incidence of traumatic spinal cord injury. *Clin Epidemiol*. 2014;6:309-31.

16. Oliver M, Inaba K, Tang A, Branco BC, Barmparas G, Schnüriger B, et al. The changing epidemiology of spinal trauma: a 13-year review from a Level I trauma centre. *Injury*. 2012;43(8):1296-300.
17. Bárbara-Bataller E, Méndez-Suárez JL, Alemán-Sánchez C, Sánchez-Enríquez J, Sosa-Henríquez M. Change in the profile of traumatic spinal cord injury over 15 years in Spain. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2018;26(1):27.
18. Van den Berg M, Castellote JM, Mahillo-Fernandez I, de Pedro-Cuesta J. Incidence of traumatic spinal cord injury in Aragón, Spain (1972-2008). *J Neurotrauma*. 2011;28(3):469-77.
19. Montoto-Marqués A, Ferreiro-Velasco ME, Salvador-de la Barrera S, Balboa-Barreiro V, Rodríguez-Sotillo A, Meijide-Failde R. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Galicia, Spain: trends over a 20-year period. *Spinal Cord*. 2017;55(6):588-94.
20. van Middendorp JJ, Goss B, Urquhart S, Atresh S, Williams RP, Schuetz M. Diagnosis and prognosis of traumatic spinal cord injury. *Global Spine J*. 2011;1(1):1-8.
21. American Spinal Injury Association. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. Richmond (VA): ASIA; 2019
22. Osunronbi T, Sharma H. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: factors influencing the frequency, completion and accuracy of documentation of neurology for patients with traumatic spinal cord injuries. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2019;29(8):1639-48.
23. UK MRCot. Aids to the investigation of Peripheral Nerve Injuries, Memorando N°45. London: Pendragon House; 1976. p. 6-7.
24. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. Paraplegia. 1969;7(3):179-92.
25. Roberts TT, Leonard GR, Cepela DJ. Classifications In Brief: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale. *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475(5):1499-504.
26. Savic G, Bergström EMK, Frankel HL, Jamous MA, Jones PW. Inter-rater reliability of motor and sensory examinations performed according to American Spinal Injury Association standards. *Spinal Cord*. 2007;45(6):444-51.
27. Krassioukov A, Biering-Sorensen F, Donovan W, Kennelly M, Kirshblum S, Krogh K, et al, Society ASCotASIAISC. International standards to document remaining autonomic function after spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2012;35(4):201-10.
28. McKinley W, Santos K, Meade M, Brooke K. Incidence and outcomes of spinal cord injury clinical syndromes. *J Spinal Cord Med*. 2007;30(3):215-24.
29. Kunam VK, Velayudhan V, Chaudhry ZA, Bobinski M, Smoker WRK, Reede DL. Incomplete Cord Syndromes: Clinical and Imaging Review. *Radiographics*. 2018;38(4):1201-22.
30. Kirshblum S, Solinsky R. Neurological Assessment and Classification of Spinal Cord Injury. In: Kirshblum S, Lin VW, editors. *Spinal Cord Medicine*. 3 ed. New York: Springer Publishing Company; 2018. p. 63-76.

31. Schneider RC, Cherry G, Pantek H. The syndrome of acute central cervical spinal cord injury; with special reference to the mechanisms involved in hyperextension injuries of cervical spine. *J Neurosurg.* 1954;11(6):546-77.
32. Brazis PW, Masdeu JC, Biller J. Spinal Cord. In: Brazis PW MJ, Biller J, editor. *Localization in clinical Neurology.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007. p. 99-123.
33. Kanagalingam S, Miller NR. Horner syndrome: clinical perspectives. *Eye Brain.* 2015;7:35-46.
34. Byrne TN, Waxman SG. Paraplejía y Síndromes de la Médula Espinal. In: Bradley WG DR, Fenichel GM, Jankovic J, editor. *Neurología Clínica. Volumen 1.* Barcelona: Elsevier; 2010. p. 357-68.
35. Kumral E, Polat F, Güllüoglu H, Uzunköprü C, Tuncel R, Alpaydin S. Spinal ischaemic stroke: clinical and radiological findings and short-term outcome. *Eur J Neurol.* 2011;18(2):232-9.
36. Robertson CE, Brown RD Jd, Wijdicks EF, Rabinstein AA. Recovery after spinal cord infarcts: long-term outcome in 115 patients. *Neurology.* 2012;78(2):114-21.
37. Mora Boga R, Salvador de la Barrera S. Concepto, fisiopatología y clasificación de la vejiga neurógena. In: Montoto Marqués A, Ferreiro Velasco ME, Rodríguez Sotillo A, Salvador de la Barrera S (Eds), editor. *Disfunción vesical e intestinal en la lesión medular.* A Coruña: Méderic ediciones; 2019. p. 71-86.
38. Eisen A. Anatomy and localization of spinal cord disorders. In: UpToDate AME, UpToDate, Waltham, MA, 2020.
39. Scivoletto G, Torre M, Iosa M, Porto MR, Molinari M. Prediction Model for the Presence of Complications at Admission to Rehabilitation After Traumatic Spinal Cord Injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2018;24(2):151-6.
40. Hachem LD, Ahuja CS, Fehlings MG. Assessment and management of acute spinal cord injury: From point of injury to rehabilitation. *J Spinal Cord Med.* 2017;40(6):665-75.
41. Yue JK, Winkler EA, Rick JW, Deng H, Partow CP, Upadhyayula PS. Update on critical care for acute spinal cord injury in the setting of polytrauma. *Neurosurg Focus.* 2017;43(5):E19.
42. Walters BC, Hadley MN, Hurlbert RJ, Aarabi B, Dhall SS, Gelb DE, et al. American Association of Neurological Surgeons; Congress of Neurological Surgeons. Guidelines for the management of acute cervical spine and spinal cord injuries:2013 update. *Neurosurgery.* 2013;60 (CN suppl 1):82-91.
43. Roquilly A, Vigué B, Boutonnet M, Bouzat P, Buffenoir K, Cesareo E, et al. French recommendations for the management of patients with spinal cord injury or at risk of spinal cord injury. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2020;39(2):279-89.
44. Josefson C, Rekand T, Lundgren-Nilsson Å, Sunnerhagen KS. Respiratory complications during initial rehabilitation and survival following spinal cord injury in Sweden: a retrospective study. *Spinal Cord.* 2020;22:1-6.
45. Romero-Ganuza J, Oliviero A. Tracheostomy in spinal cord injured patients. *Transl Med UniSa.* 2011;1:151-72.
46. Beom JY, Seo H. The Need for Early Tracheostomy in Patients with Traumatic

Cervical Cord Injury. *Clin Orthop Surg*. 2018;10(2):191-6.

47. Güell Rous MR, Díaz Lobato S, Rodríguez Trigo G, Morante Vélez F, San Miguel M, Cejudo P, et al, (SEPAR) SEdNyCT. Pulmonary rehabilitation. Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR). *Arch Bronconeumol*. 2014;50(8):332-44.

48. Prevention of Venous Thromboembolism in Individuals with Spinal Cord Injury: Clinical Practice Guidelines for Health Care Providers, 3rd ed.: Consortium for Spinal Cord Medicine. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2016;22(3):209-40.

49. Soriano Sánchez JA, Sharif S, Costa F, Rangel JAIR, Anania CD, Zileli M. Early Management of Spinal Cord Injury: WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine*. 2020;17(4):759-84.

50. Khorasanizadeh M, Yousefifard M, Eskian M, Lu Y, Chalangari M, Harrop JS, et al. Neurological recovery following traumatic spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg Spine*. 2019;15:1-17.

51. Fehlings MG, Talbott L, Aarabi B, Anderson P, Arnold PM, Brodke DS, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Patients With Acute Spinal Cord Injury: Recommendations on the Type and Timing of Rehabilitation. *Global Spine J*. 2017;7:231S-8S.

52. De Miguel-Rubio A, Rascón-Maíz J, Alba-Rueda A, Rodrigues-de-Souza DP. Mejora de la conducción en pacientes con lesión medular mediante el uso de la realidad virtual. Revisión sistemática. *Rev Neurol*. 2022;75(2):31-40.

53. Huang H, Young W, Skaper S, Chen L, Moviglia G, Saberi H, et al. Clinical Neurorestorative Therapeutic Guidelines for Spinal Cord Injury (IANR/CANR version 2019). *J Orthop Translat*. 2019;20:14-24.

54. Rossignol S, Frigon A. Spinal and supraspinal plasticity after spinal cord injury. In: Fehlings MG, Vaccaro AR, Boakye M, et al, editors. *Essentials of spinal cord injury basic research to clinical practice* 1<sup>o</sup> ed. Denver, CO: Thieme Medical Publishers Inc.; 2013. p. 490-501.

55. Tator CH. Biology of neurological recovery and functional restoration after spinal cord injury. *Neurosurgery*. 1998;42(4):696-707.

56. Fehlings MG, Tator CH. The relationships among the severity of spinal cord injury, residual neurological function, axon counts, and counts of retrogradely labeled neurons after experimental spinal cord injury. *Exp Neurol*. 1995;732(2):220-8.

57. Oleson EV, Flanders AE. Predicting outcome following traumatic spinal cord injury. In: *Spinal Cord Medicine*. 3 ed. New York: Springer Publishing Company; 2018. p. 63-76. p. 149-65.

58. Drazin D, Boakye M. Spontaneous recovery patterns and prognoses after spinal cord injury. In: Fehlings MG, Vaccaro AR, Boakye M, et al, editors. *Essentials of spinal cord injury basic research to clinical practice*. 1<sup>o</sup> ed. Denver, CO: Thieme Medical Publishers Inc.; 2013. p. 75-83.

59. Geisler FH, Coleman WP, Grieco G, Poonian D, Group SS. The Sygen multicenter acute spinal cord injury study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26:S87-98.

60. Thomas AX, Riviello JJ Jr, Davila-Williams D, Thomas SP, Erklauer JC, Bauer DF, et al. Pharmacologic and Acute Management of Spinal Cord Injury in Adults and Children.

Curr Treat Options Neurol. 2022;24(7):285-304

61. Vaquero J, Zurita M, Rico MA, Bonilla C, Aguayo C, Montilla J, et al. Neurological Cell Therapy Group. An approach to personalized cell therapy in chronic complete paraplegia: The Puerta de Hierro phase I/II clinical trial. *Cytotherapy*. 2016;18(8):1025-36.
62. Van der Naalt J, Timmerman ME, de Koning ME, van der Horn HJ, Scheenen ME, Jacobs B, et al. Early predictors of outcome after mild traumatic brain injury (UPFRONT): an observational cohort study. *Lancet neurol*. 2017;16(7):532-40.
63. Marino RJ, Ditunno JF Jr, Donovan WH, Maynard FJr. Neurologic recovery after traumatic spinal cord injury: data from the Model Spinal Cord Injury Systems. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80:1391-6.
64. Kirshblum SC, O'Connor KC. Levels of spinal cord injury and predictors of neurologic recovery. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2000;11(1):1-27.
65. Wichmann TO, Jensen MH, Kasch H, Rasmussen MM. Early clinical predictors of functional recovery following traumatic spinal cord injury: a population-based study of 143 patients. *Acta Neurochir (Wien)*. 2021;Jan 11.
66. Kaminski L, Cordemans V, Cernat E, M'Bra KI, Mac-Thiong JM. Functional Outcome Prediction after Traumatic Spinal Cord Injury Based on Acute Clinical Factors. *J Neurotrauma*. 2017;34(12):2027-33.
67. Brown AR, Martínez M. From cortex to cord: motor circuit plasticity after spinal cord injury. *Neural Regen Res*. 2019;14(12):2054-62.
68. Aimetti AA, Kirshblum S, Curt A, Mobley J, Grossman RG, Guest JD. Natural history of neurological improvement following complete (AIS A) thoracic spinal cord injury across three registries to guide acute clinical trial design and interpretation. *Spinal Cord*. 2019;57(9):753-62.
69. Kawano O, Maeda T, Mori E, et al. How much time is necessary to confirm the diagnosis of permanent complete cervical spinal cord injury? *Spinal Cord*. 2020;58(3):284-9.
70. Kirshblum S, Snider B, Eren F, Guest J. Characterizing natural recovery after traumatic spinal cord injury. *Journal of Neurotrauma*. 2021;38(9):1267-84.
71. Fawcett JW, Curt A, Steeves JD, Coleman WP, Tuszynski MH, Lammertse D, et al. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials. *Spinal Cord*. 2007;45(3):190-205.
72. Zwecker DM, Heled DE, Bondi DM, Zeilig PG, Bluvstein DV, Catz PA, et al. Determinants of quality of life in individuals with spinal cord injury using structural equation modelling. *Arch Phys Med Rehabil*. 2022;7:S0003-9993(22)00515-9.
73. Richard-Denis A, Chatta R, Thompson C, Mac-Thiong JM. Patterns and predictors of functional recovery from the subacute to the chronic phase following a traumatic spinal cord injury: a prospective study *Spinal Cord*. 2020;58(1):43-52.
74. Marino RJ, Herbison GJ, Ditunno JF Jr. Peripheral sprouting as a mechanism for recovery in the zone of injury in acute quadriplegia: a single-fiber EMG study. *Muscle Nerve*. 1994;17:1466-68.
75. Marino RJ, Leff M, Cardenas DD, Donovan J, Chen D, Kirshblum S, et al. Trends in

Rates of ASIA Impairment Scale Conversion in Traumatic Complete Spinal Cord Injury. *Neurotrauma Rep.* 2020;1(1):192-200.

76. Wilson JR, Cadotte DW, Fehlings MG. Clinical predictors of neurological outcome, functional status, and survival after traumatic spinal cord injury: a systematic review. *J Neurosurg Spine.* 2012;17(1 Suppl):11-26.

77. Van Middendorp JJ, Hosman AJ, Donders AR, Pouw MH, Ditunno JF Jr, Curt A, et al, Group. E-SS. A clinical prediction rule for ambulation outcomes after traumatic spinal cord injury: a longitudinal cohort study. *Lancet.* 2011;377(9770):1004-10.

78. Furlan JC, Hitzig SL, Craven BC. The influence of age on functional recovery of adults with spinal cord injury or disease after inpatient rehabilitative care: a pilot study. *Aging Clin Exp Res.* 2013;25(4):463-71.

79. Abdul-Sattar AB. Predictors of functional outcome in patients with traumatic spinal cord injury after inpatient rehabilitation: in Saudi Arabia. *NeuroRehabilitation.* 2014;35(2):341-7.

80. Wilson JR, Davis AM, Kulkarni AV, Kiss A, Frankowski RF, Grossman RG, et al. Defining age-related differences in outcome after traumatic spinal cord injury: analysis of a combined, multicenter dataset. *Spine J.* 2014;14(7):1192-8.

81. Al-Habib AF, Attabib N, Ball J, Bajammal S, Casha S, Hurlbert RJ. Clinical predictors of recovery after blunt spinal cord trauma: systematic review. *J Neurotrauma.* 2011;28(8):1431-43.

82. Richard-Denis A, Beauséjour H, Thompson C, Nguyen BH, Mac-Thiong JM. Early Predictors of Global Functional Outcome after Traumatic Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Journal of Neurotrauma.* 2018;35(15):1705-25.

83. Mora-Boga R, Canosa-Hermida E, Toral-Guisasola I, Balboa-Barreiro V, Salvador-de la Barrera S, Ferreiro-Velasco ME, et al. Clinical characteristics and prognosis of spinal cord injury in individuals over 75 years old. *Neurocirugia (Astur : Engl Ed).* 2021;32(5):209-216.

84. Engel-Haber E, Zeilig G, Haber S, Worobey L, Kirshblum S. The effect of age and injury severity on clinical prediction rules for ambulation among individuals with spinal cord injury. *Spine J.* 2020;20(10):1666-75.

85. Stewart AN, MacLean SM, Stromberg AJ, Whelan JP, Bailey WM, Gensel JC, et al. Considerations for Studying Sex as a Biological Variable in Spinal Cord Injury. *Front Neurol.* 2020;11:802.

86. Sipski ML, Jackson AB, Gómez-Marín O, Estores I, Stein A. Effects of gender on neurologic and functional recovery after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(11):1826-36.

87. Greenwald BD, Steel RT, Cifu DX, Shah AN. Gender-related differences in acute rehabilitation lengths of stay, charges, and functional outcomes for a matched sample with spinal cord injury: a multicenter investigation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(9):1181-7.

88. Furlan JC, Craven BC, Fehlings MG. Sex-related discrepancies in the epidemiology, injury characteristics and outcomes after acute spine trauma: A retrospective cohort study. *J Spinal Cord Med.* 2019;42(10-20).

89. Fyffe DC, Deutsch A, Botticello AL, Kirshblum S, Ottenbacher KJ. Racial and ethnic

- disparities in functioning at discharge and follow-up among patients with motor complete spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95(11):2140-51.
90. Kennedy P, Kilvert A, Hasson L. Ethnicity and rehabilitation outcomes: the Needs Assessment Checklist. *Spinal Cord*. 2015;53(5):334-9.
91. [Internet] IGdE. Santiago de Compostela: sede electrónica del IGE 2021 [Disponible en: <http://www.ige.eu>]:
92. Waters RL, Sie I, Adkins RH, Yakura JS. Injury pattern effect on motor recovery after traumatic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995;76:440-3.
93. McCarthy MJ, Gatehouse S, Steel M, Goss B, Williams R. The influence of the energy of trauma, the timing of decompression, and the impact of grade of SCI on outcome. *Evid Based Spine Care J*. 2011;2(2):11-7.
94. Putz C, Schuld C, Gantz S, Grieser T, Akbar M, Moradi B, et al. The effect of polytrauma as a possible confounder in the outcome of monotraumatic vs polytraumatic paraplegic patients: a clinical cohort study. *Spinal Cord*. 2011;49(6):721-7.
95. Scivoletto G, Farchi S, Laurenza L, Tamburella F, Molinari M. Impact of multiple injuries on functional and neurological outcomes of patients with spinal cord injury. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2013;21(42).
96. Macciocchi S, Seel RT, Warshowsky A, Thompson N, Barlow K. Co-occurring traumatic brain injury and acute spinal cord injury rehabilitation outcomes. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93(10):1788-94.
97. Aarabi B, Akhtar-Danesh N, Chryssikos T, et al. Efficacy of Ultra-Early (< 12 h), Early (12-24 h), and Late (>24-138.5 h) Surgery with Magnetic Resonance Imaging-Confirmed Decompression in American Spinal Injury Association Impairment Scale Grades A, B, and C Cervical Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma*. 2020;37(3):448-57.
98. Badhiwala JH, Wilson JR, Witiw CD, Harrop JS, Vaccaro AR, Aarabi B, et al. The influence of timing of surgical decompression for acute spinal cord injury: a pooled analysis of individual patient data. *Lancet Neurol*. 2021;20(2):117-26.
99. Galeiras Vázquez R, Ferreiro Velasco M, 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.
100. Martí-Climent JM, Prieto E, López Lafuente J, Arbizu J. Neuroimagen: Fundamentos técnicos y prácticos. *Rev Esp Med Nucl*. 2010;29(4):189-210.
101. Wheeler-Kingshott CA, Stroman PW, Schwab JM, Bacon M, Bosma R, Brooks J, et al. The current state-of-the-art of spinal cord imaging: applications. *Neuroimage*. 2014. 1;84:1082-93.
102. Stroman PW, Wheeler-Kingshott C, Bacon M, Schwab JM, Bosma R, Brooks J, et al. The current state-of-the-art of spinal cord imaging: methods. *Neuroimage*. 2014. 1;84:1070-81.
103. Westbrook C, Roth CK, Talbot J. *MRI in Practice*. 4 ed. Hoboken ( New Jersey): Wiley-Blackwell; 2011. p. 456.
104. David G, Mohammadi S, Martin AR, Cohen-Adad J, Weiskopf N, Thompson A, et al. Traumatic and nontraumatic spinal cord injury: pathological insights from neuroimaging. *Nat Rev Neurol*. 2019;15(12):718-31.

105. Kaushal M, Shabani S, Budde M, Kurpad S. Diffusion Tensor Imaging in Acute Spinal Cord Injury: A Review of Animal and Human Studies. *J Neurotrauma*. 2019;36(15):2279-86.
106. Shanmuganathan K, Gullapalli RP, Zhuo J, Mirvis SE. Diffusion tensor MR imaging in cervical spine trauma. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008;29(4):655-9.
107. Endo T, Suzuki S, Utsunomiya A, Uenohara H, Tominaga T. Prediction of neurological recovery using apparent diffusion coefficient in cases of incomplete spinal cord injury. *Neurosurgery*. 2011;68(2):329-36.
108. Krishna V, Andrews H, Varma A, Mintzer J, Kindy MS, Guest J. Spinal cord injury: how can we improve the classification and quantification of its severity and prognosis? *J Neurotrauma*. 2014;31(3):215-27.
109. Cloos M, Knoll F, Zhao T, Block KT, Bruno M, Wiggins GC, et al. Multiparametric imaging with heterogeneous radiofrequency fields. *Nat Commun*. 2016;7:12445.
110. Martin AR, Aleksanderek I, Cohen-Adad J, Tarmohamed Z, Tetreault L, Smith N, et al. Translating state-of-the-art spinal cord MRI techniques to clinical use: A systematic review of clinical studies utilizing DTI, MT, MWF, MRS, and fMRI. *Neuroimage Clin* 2015 4;10:192-238.
111. Zaninovich OA, Avila MJ, Kay M, Becker JL, Hurlbert RJ, Martirosyan NL. The role of diffusion tensor imaging in the diagnosis, prognosis, and assessment of recovery and treatment of spinal cord injury: a systematic review. *Neurosurg Focus* 2019;46(3):E7.
112. Freund P, Seif M, Weiskopf N, Friston K, Fehlings MG, Thompson AJ, et al. MRI in traumatic spinal cord injury: from clinical assessment to neuroimaging biomarkers. *Lancet Neurol*. 2019;18(12):1123-35.
113. Ellingson BM, Salamon N, Holly LT. Imaging techniques in spinal cord injury. *World Neurosurg*. 2014;82(6):1351-8.
114. Petersen JA, Wilm BJ, von Meyenburg J, Schubert M, Seifert B, Najafi Y, et al. Chronic cervical spinal cord injury: DTI correlates with clinical and electrophysiological measures. *J Neurotrauma*. 2012;29(8):1556-66.
115. Jones JG, Cen SY, Lebel RM, Hsieh PC, Law M. Diffusion tensor imaging correlates with the clinical assessment of disease severity in cervical spondylotic myelopathy and predicts outcome following surgery. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2013;34(2):471-8.
116. Goradia D, Linnau KF, Cohen WA, Mirza S, Hallam DK, Blackmore CC. Correlation of MR imaging findings with intraoperative findings after cervical spine trauma. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2007;28(2):209-15.
117. Karthik Yelamarthy PK, Chhabra HS, Vaksha V, Agarwal Y, Agarwal A, Das K, et al. Radiological protocol in spinal trauma: literature review and Spinal Cord Society position statement. *Eur Spine J* 2020;29(6):1197-211.
118. Song KD, Yoon YC, Park J. Reducing metallic artefacts in post-operative spinal imaging: slice encoding for metal artefact correction with dual-source parallel radiofrequency excitation MRI at 3.0 T. *Br J Radiol*. 2013;86(1027):20120524.
119. Scheyerer MJ, Werner CML, Veit-Haibach P. The clinical rehabilitation of spine and spinal cord disorders: detection and evaluation using SPECT/CT. *Neural Regen Res*.

2014;9(8):795-7.

120. Kriss VM, Kriss T. SCIWORA (spinal cord injury without radiographic abnormality) in infants and children. *Clin Pediatr (Phila)*. 1996;35(3):119-24.

121. Liang J, Wang L, Hao X, Wang G, Wu X. Risk factors and prognosis of spinal cord injury without radiological abnormality in children in China. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):428.

122. Panczykowski DM, Tomycz ND, Okonkwo DO. Comparative effectiveness of using computed tomography alone to exclude cervical spine injuries in obtunded or intubated patients: meta-analysis of 14,327 patients with blunt trauma. *J Neurosurg*. 2011;115(3):541-9.

123. Expert Panel on Neurological Imaging and Musculoskeletal Imaging: Beckmann NM, West OC, Nunez D Jr, Kirsch CFE, Aulino JM, Broder JS, et al. ACR Appropriateness Criteria® Suspected Spine Trauma. *J Am Coll Radiol*. 2019;16(5S):S264-85.

124. Singh R, Kumar RR, Setia N, Magu S. A prospective study of neurological outcome in relation to findings of imaging modalities in acute spinal cord injury. *Asian J Neurosurg*. 2015;10(3):181-9.

125. Muchow RD, Resnick DK, Abdel MP, Munoz A, Anderson PA. Magnetic resonance imaging (MRI) in the clearance of the cervical spine in blunt trauma: a meta-analysis. *J Trauma*. 2008;64(1):179-89.

126. Lammertse D, Dungan D, Dreisbach J, Falci S, Flanders A, Marino R, Schwartz E, Rehabilitation Nloda. Neuroimaging in traumatic spinal cord injury: an evidence-based review for clinical practice and research. *J Spinal Cord Med*. 2007;30(3):205-14.

127. Aarabi B, Olexa J, Chryssikos T, Galvagno SM, Hersh DS, Wessell A, et al. Extent of Spinal Cord Decompression in Motor Complete (American Spinal Injury Association Impairment Scale Grades A and B) Traumatic Spinal Cord Injury Patients: Post-Operative Magnetic Resonance Imaging Analysis of Standard Operative Approaches. *J Neurotrauma*. 2019;36(6):862-76.

128. Bozzo A, Marcoux J, Radhakrishna M, Pelletier J, Goulet B. The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2011;28(8):1401-11.

129. Fehlings MG, Martin AR, Tetreault LA, Aarabi B, Anderson P, Arnold PM, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Patients With Acute Spinal Cord Injury: Recommendations on the Role of Baseline Magnetic Resonance Imaging in Clinical Decision Making and Outcome Prediction. *Global Spine J*. 2017;7:221-30.

130. Pang D. Spinal cord injury without radiographic abnormality in children, 2 decades later. *Neurosurgery* 2004;55(6):1325-42.

131. Seif M, Gandini Wheeler-Kingshott CA, Cohen-Adad J, Flanders AE, Freund P. Guidelines for the conduct of clinical trials in spinal cord injury: Neuroimaging biomarkers. *Spinal Cord*. 2019;57(9):717-28.

132. Chandra J, Sheerin F, Lopez de Heredia L, Meagher T, King D, Belci M, et al. MRI in acute and subacute post-traumatic spinal cord injury: pictorial review. *Spinal Cord*. 2012;50(1):2-7.

133. Parizel PM, van der Zijden T, Gaudino S, Spaepen M, Voormolen MHJ,

- Venstermans C, et al. Trauma of the spine and spinal cord: imaging strategies. *Eur Spine J*. 2010;19:S8-S17.
134. Mhuircheartaigh NN, Ker JM, Murray JG. MR imaging of traumatic spinal injuries. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2006;10(4):293-307.
  135. Vargas MI, Boto J, Meling TR. Imaging of the spine and spinal cord: An overview of magnetic resonance imaging (MRI) techniques. *Rev Neurol (Paris)*. 2021;177(5):451-8.
  136. Malomo TA, Allard Brown A, Bale K, Yung A, Kozlowski P, Heran MKS, et al. Quantifying intraparenchymal hemorrhage after traumatic spinal cord injury - a review of methodology. *J Neurotrauma* 2022 May 11 doi: 101089/neu20210317
  137. Tuszynski MH, Gabriel K, Gerhardt K, Szollar S. Human spinal cord retains substantial structural mass in chronic stages after injury. *J Neurotrauma*. 1999;16(6):523-31.
  138. Vallotton K, Huber E, Sutter R, Curt A, Hupp M, Freund P. Width and neurophysiologic properties of tissue bridges predict recovery after cervical injury. *Neurology*. 2019;92(24):e2793-802
  139. Kearney H, Miller DH, Ciccarelli O. Spinal cord MRI in multiple sclerosis-diagnostic, prognostic and clinical value. *Nat Rev Neurol*. 2015;11(6):327-38.
  140. Freund P, Weiskopf N, Ward NS, Hutton C, Gall A, Ciccarelli O, et al. Disability, atrophy and cortical reorganization following spinal cord injury. *Brain*. 2011;134(6):1610-22.
  141. Ziegler G, Grabher P, Thompson A, Altmann D, Hupp M, Ashburner J, et al. Progressive neurodegeneration following spinal cord injury: Implications for clinical trials. *Neurology*. 2018;90(14):E1257-66.
  142. Huber E, David G, Thompson AJ, Weiskopf N, Mohammadi S, Freund P. Dorsal and ventral horn atrophy is associated with clinical outcome after spinal cord injury. *Neurology*. 2018;90(17):E1510-22.
  143. Liu Q, Liu Q, Zhao J, Yu H, Ma X, Wang L. Early MRI finding in adult spinal cord injury without radiologic abnormalities does not correlate with the neurological outcome: a retrospective study. *Spinal Cord*. 2015;53(10):750-3.
  144. Leypold BG, Flanders AE, Burns AS. The early evolution of spinal cord lesions on MR imaging following traumatic spinal cord injury. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008;29(5):1012-6
  145. Kulkarni MV, Bondurant FJ, Rose SL, Narayana PA. 1.5 tesla magnetic resonance imaging of acute spinal trauma. *Radiographics*. 1988;8(6):1059-82.
  146. Shimada K, Tokioka T. Sequential MR studies of cervical cord injury: correlation with neurological damage and clinical outcome. *Spinal Cord*. 1999;37(6):410-5.
  147. Bondurant FJ, Cotler HB, Kulkarni MV, McArdle CB, Harris JH. Acute spinal cord injury. A study using physical examination and magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990;15(3):161-8.
  148. Schaefer DM, Flanders AE, Osterholm JL, Northrup BE. Prognostic significance of magnetic resonance imaging in the acute phase of cervical spine injury. *J Neurosurg*. 1992;76(2):218-23.

149. Flanders AE, Spettell CM, Friedman DP, Marino RJ, Herbison GJ. The relationship between the functional abilities of patients with cervical spinal cord injury and the severity of damage revealed by MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1999;20(5):926-34.
150. Silberstein M, Hennessy O. Implications of focal spinal cord lesions following trauma: evaluation with magnetic resonance imaging. *Paraplegia*. 1993;31(3):160-7.
151. Boldin C, Raith J, Fankhauser F, Haunschmid C, Schwantzer G, Schweighofer F. Predicting neurologic recovery in cervical spinal cord injury with postoperative MR imaging. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(5):554-9.
152. Qiu Z, Wang F, Hong Y, Zhang J, Tang H, Li X, et al. Clinical Predictors of Neurological Outcome within 72 h after Traumatic Cervical Spinal Cord Injury. *Sci Rep*. 2016;6:38909.
153. Sett P, Crockard HA. The value of magnetic resonance imaging in the follow-up management of spinal injury. *Paraplegia*. 1991;29:396-410.
154. Silberstein M, Brown D, Tress BM, Hennessey O. Suggested MRI criteria for surgical decompression in acute spinal cord injury. Preliminary observations. *Paraplegia*. 1992;30(10):704-10.
155. Ramón S, Domínguez R, Ramírez L, Paraira M, Olona M, Castelló T, et al. Clinical and magnetic resonance imaging correlation in acute spinal cord injury. *Spinal Cord*. 1997;35(10):664-73.
156. Flanders AE, Schaefer DM, Doan HT, Mishkin MM, Gonzalez CF, Northrup BE. Acute cervical spine trauma: correlation of MR imaging findings with degree of neurologic deficit. *Radiology*. 1990;177(1):25-33.
157. Rao SC, Fehlings MG. The optimal radiologic method for assessing spinal canal compromise and cord compression in patients with cervical spinal cord injury. Part I: An evidence-based analysis of the published literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(6):598-604.
158. Fehlings MG, Rao SC, Tator CH, Skaf G, Arnold P, Benzel E, et al. The optimal radiologic method for assessing spinal canal compromise and cord compression in patients with cervical spinal cord injury. Part II: Results of a multicenter study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(6):605-13.
159. Fehlings MG, Furlan JC, Massicotte EM, Arnold P, Aarabi B, Harrop J, et al. Interobserver and intraobserver reliability of maximum canal compromise and spinal cord compression for evaluation of acute traumatic cervical spinal cord injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(15):1719-25.
160. Ter Haar M, Naidoo S, Govender S, Parag P, Esterhuizen TM. Acute traumatic cervical spinal cord injuries: Correlating MRI findings with neurological outcome. *SA Orthopaedic Journal*. 2011;10(1):7.
161. Mabray MC, Talbott JF, Whetstone WD, Dhall SS, Phillips DB, Pan JZ, et al. Multidimensional Analysis of Magnetic Resonance Imaging Predicts Early Impairment in Thoracic and Thoracolumbar Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma*. 2016;33(10):954-62.
162. Pizones J, Zúñiga L, Sánchez-Mariscal F, Alvarez P, Gómez-Rice A, Izquierdo E. MRI study of post-traumatic incompetence of posterior ligamentous complex: importance of the supraspinous ligament. Prospective study of 74 traumatic fractures. *Eur Spine J*. 2012;21(11):2222-31.

163. Martínez-Pérez R, Jiménez-Roldán L, Lagares A. Ligaments disruption: a new perspective in the prognosis of spinal cord injury. *Neural Regen Res*. 2014;9(5):456-7.
164. Martínez-Pérez R, Paredes I, Cepeda S, Ramos A, Castaño-León AM, García-Fuentes C, et al. Spinal cord injury after blunt cervical spine trauma: correlation of soft-tissue damage and extension of lesion. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;35(5):1029-34.
165. Martínez-Pérez R, Munarriz PM, Paredes I, Cotrina J, Lagares A. Cervical Spinal Cord Injury without Computed Tomography Evidence of Trauma in Adults: Magnetic Resonance Imaging Prognostic Factors. *World Neurosurg*. 2017;99:192-9.
166. Martínez-Pérez R, Cepeda S, Paredes I, Alen JF, Lagares A. MRI Prognostication Factors in the Setting of Cervical Spinal Cord Injury Secondary to Trauma. *World Neurosurg*. 2017;101:623-32.
167. Badhiwala JH, Ahuja CS, Fehlings MG. Time is spine: a review of translational advances in spinal cord injury. *J Neurosurg Spine*. 2018;30(1):1-18.
168. Bellucci CH, Castro Filho JE, Gomes CM, Bessa Junior Jd, Battistella LR, Souza DR, et al. Contemporary trends in the epidemiology of traumatic spinal cord injury: changes in age and etiology. *Neuroepidemiology* 2015;44(2):85-90.
169. Ahuja CS, Wilson JR, Nori S, Kotter MRN, Druschel C, Curt A et al. Traumatic spinal cord injury. *Nat Rev Dis Primers*. 2017;3:17018.
170. Kang Y DH, Zhou HX, Wei ZJ, Liu L, Pan DY, et al., 2018 EowscialrJoN, 6:1-9. Epidemiology of worldwide spinal cord injury: a literature review. *ournal of Neurorestoratology*. 2018;6:1-9.
171. Johansson E, Luoto TM, Vainionpää A, Kauppila AM, Kallinen M, Väärälä E, et al. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Finland. *Spinal Cord*. 2021;59(7):761-8.
172. Lampart A, Arnold I, Mäder N, Niedermeier S, Escher A, Stahl R, et al. Prevalence of Fractures and Diagnostic Accuracy of Emergency X-ray in Older Adults Sustaining a Low-Energy Fall: A Retrospective Study. *J Clin Med*. 2019;9(1):97.
173. Parashari UC, Khanduri S, Bhadury S, Kohli N, Parihar A, Singh R, et al. Diagnostic and prognostic role of MRI in spinal trauma, its comparison and correlation with clinical profile and neurological outcome, according to ASIA impairment scale. *J Craniovertebr Junction Spine*. 2011;2(1):17-26.
174. Hirsh LF, Duarte L, Wolfson EH. Thoracic spinal cord injury without spine fracture in an adult: Case report and literature review. *Surgical Neurology*. 1993;40(1):35-8..
175. Tewari MK, Gifti DS, Singh P, Khosla VK, Mathuriya SN, Gupta SK, et al. Diagnosis and prognostication of adult spinal cord injury without radiographic abnormality using magnetic resonance imaging: analysis of 40 patients. *Surg Neurol*. 2005;63(3):204-9.
176. Boese CK, Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormalities in adults: a systematic review. *J Trauma Acute Care Surg*. 2013;75(2):320-30.
177. Naik BR, Sakalecha A, Savagave SG. Evaluation of Traumatic Spine by Magnetic Resonance Imaging and Its Correlation with Cliniconeurological Outcome. *J Emerg Trauma Shock*. 2019;12(2):101-7.
178. Magu S SD, Yadav RK, Bala M. Evaluation of Traumatic Spine by Magnetic Resonance Imaging and Correlation with Neurological Recovery. *Asian Spine J*. 2015;9(5):748-56.

179. Mora-Boga R, Canosa-Hermida E, Toral-Guisasola I, Balboa-Barreiro V, Salvador-de la Barrera S, Ferreiro-Velasco ME, et al. Características clínicas y pronóstico de la lesión medular traumática en pacientes mayores de 75 años. *Neurocirugía (Asturias, Spain)*. 2020;S1130-1473(20)30084-1
180. Tang P, Long A, Shi T, Zhang L, Zhang L. Analysis of the independent risk factors of neurologic deficit after thoracolumbar burst fracture. *J Orthop Surg Res*. 2016;11(1):128.
181. Yüksel MO, Gürbüz MS, Gök Ş, Karaarslan N, İş M, Berkman MZ. The Association between Sagittal Index, Canal Compromise, Loss of Vertebral Body Height, and Severity of Spinal Cord Injury in Thoracolumbar Burst Fractures. *J Neurosci Rural Pract*. 2016;7(1):57-61.
182. Fehlings MG, Furlan JC, Massicotte EM, Arnold P, Aarabi B, HArrop J, et al. Interobserver and intraobserver reliability of maximum canal compromise and spinal cord compression for evaluation of acute traumatic cervical spinal cord injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(15):1719-25.
183. Furlan JC, Fehlings MG, Massicotte EM, Aarabi B, Vaccaro AR, Bono CM, et al. A quantitative and reproducible method to assess cord compression and canal stenosis after cervical spine trauma: a study of interrater and intrarater reliability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(19):2083-91.
184. Karpova A, Craciunas S, Chua SY RD, Smith S, Fehlings MG. Accuracy and reliability of MRI quantitative measurements to assess spinal cord compression in cervical spondylotic myelopathy: a prospective study. *Evid Based Spine Care J*. 2010;1(2):56-7.
185. Karpova A, Arun R, Davis AM, Kulkarni AV, Mikulis DJ, Sooyong C, et al. Reliability of quantitative magnetic resonance imaging methods in the assessment of spinal canal stenosis and cord compression in cervical myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(3):245-52.
186. Kpelao E, Doleagbenou AK, Moumouni AK, Ahanogbe H, Mona A, Lawson D, et al. Spinal cord compression in Togo: Etiologies and management. *World Neurosurg*. 2022;162:e542-5.
187. Zhuge W, Ben-Galim P, Hipp JA, Reitman CA. Efficacy of MRI for assessment of spinal trauma: correlation with intraoperative findings. *J Spinal Disord Tech*. 2015;28(4):147-51.
188. Vaccaro AR, Rhin JA, Saravanja D, Anderson DG, Hilibrand AS, Albert TJ, et al. Injury of the posterior ligamentous complex of the thoracolumbar spine: a prospective evaluation of the diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(23):E841-7.
189. Barz M, Janssen IK, Aftahy K, Krieg SM, Gempt J, Negwer C, et al. Incidence of discoligamentous injuries in patients with acute central cord syndrome and underlying degenerative cervical spinal stenosis. *Brain Spine*. 2022;2:100882.
190. Henninger B, Kaser V, Ostermann S, Spicher A, Zegg M, Schmid R, et al. Cervical Disc and Ligamentous Injury in Hyperextension Trauma: MRI and Intraoperative Correlation. *J Neuroimaging*. 2020;30(1):104-9.
191. Geethanath S, Vaughan JT Jr. Accessible magnetic resonance imaging: A review. *J*

Magn Reson Imaging. 2019;49(7):e65-e77.

192. Shepard MJ, Bracken MB. Magnetic resonance imaging and neurological recovery in acute spinal cord injury: observations from the National Acute Spinal Cord Injury Study 3. *Spinal Cord*. 1999;37(12):833-7.

193. Kaji A. Evaluation of thoracic and lumbar spinal column injury. In: UpToDate, Moreira ME, Khurana B (Eds), UpToDate, Waltham MAc (Accessed February 24,2021).

194. Shao J, Zhu W, Chen X, Jia L, Song D, Zhou X, et al. Factors associated with early mortality after cervical spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2011;34(6):555-62.

195. McCaughey EJ, Purcell M, McLean AN, Fraser MH, Bewick A, Borotkanics RJ, et al. Changing demographics of spinal cord injury over a 20-year period: a longitudinal population-based study in Scotland. *Spinal Cord*. 2016;54(4):270-6.

196. Chen Y, He Y, DeVivo MJ. Changing Demographics and Injury Profile of New Traumatic Spinal Cord Injuries in the United States, 1972-2014. *Arch Phys Med Rehabil*. 2016;97(10):1610-9.

197. DeVivo MJ. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications. *Spinal Cord*. 2012;50(5):365-72.

198. Almeida RL, Bezerra Filho JG, Braga JU, Magalhães FB, Macedo MC, Silva KA. Man, road and vehicle: risk factors associated with the severity of traffic accidents. *Rev Saude Publica*. 2013;47(4):718-31.

199. Scivoletto G, Tamburella F, Laurenza L, Torre M, Molinari M. Who is going to walk? A review of the factors influencing walking recovery after spinal cord injury. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:141.

200. Samdani AF, Fayssoux RS, Asghar J, McCarthy JJ, Betz RR, Gaughan J, et al. Chronic spinal cord injury in the pediatric population: does magnetic resonance imaging correlate with the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury examination? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(1):74-81.

201. Martineau J, Goulet J, Richard-Denis A, Mac-Thiong JM. The relevance of MRI for predicting neurological recovery following cervical traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2019;57(10):866-73.

202. Wilson JR, Grossman RG, Frankowski RF, Kiss A, Davis AM, Kulkarni AV, et al. A clinical prediction model for long-term functional outcome after traumatic spinal cord injury based on acute clinical and imaging factors. *J Neurotrauma*. 2012;29(13):2263-71.

203. Kurpad S, Martin AR, Tetreault LA, Fischer DJ, Skelly AC, Mikulis D, et al. Impact of Baseline Magnetic Resonance Imaging on Neurologic, Functional, and Safety Outcomes in Patients With Acute Traumatic Spinal Cord Injury. *Global Spine J*. 2017;7:151-74.

204. Tarawneh AM, D'Aquino D, Hilis A, Eisa A, Quraishi NA. Can MRI findings predict the outcome of cervical spinal cord Injury? A systematic review. *Eur Spine J*. 2020;29(10):2457-64.

205. Srinivas BH, Rajesh A, Purohit AK. Factors affecting outcome of acute cervical spine injury: A prospective study. *Asian J Neurosurg*. 2017;12(3):416-23.

206. Song KJ, Ko JH, Choi BW. Relationship between magnetic resonance imaging findings and spinal cord injury in extension injury of the cervical spine. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2016;26(3):263-9.

207. Mahmood NS, Kadavigere R, Avinash KR, Rao VR. Magnetic resonance imaging in acute cervical spinal cord injury: a correlative study on spinal cord changes and 1 month motor recovery. *Spinal Cord*. 2008;46(12):791-7.
208. Gupta R, Mittal P, Sandhu P, Saggat K, Gupta K. Correlation of qualitative and quantitative MRI parameters with neurological status: a prospective study on patients with spinal trauma. *J Clin Diagn Res*. 2014;8(11):RC13-7.
209. Andreoli C, Colaiacomo MC, Rojas Beccaglia M, Di Biasi C, Casciani E, Gualdi G. MRI in the acute phase of spinal cord traumatic lesions: Relationship between MRI findings and neurological outcome. *Radiol Med*. 2005;110(5-6):636-45.
210. Aarabi B, Sansur CA, Ibrahim DM, Simard JM, Hersh DS, Le E, et al. Intramedullary Lesion Length on Postoperative Magnetic Resonance Imaging is a Strong Predictor of ASIA Impairment Scale Grade Conversion Following Decompressive Surgery in Cervical Spinal Cord Injury. *Neurosurgery*. 2017;80 (4):610-20.
211. Matsushita A, Maeda T, Mori E, Yuge I, Kawano O, Ueta T, et al. Can the acute magnetic resonance imaging features reflect neurologic prognosis in patients with cervical spinal cord injury? *Spine J*. 2017;17(9):1319-24.
212. Rutges JPHJ, Kwon B, Heran M, Ailon T, Street JT, Dvorak MF. A prospective serial MRI study following acute traumatic cervical spinal cord injury. *Eur Spine J*. 2017;26(9):2324-32.
213. Le E, Aarabi B, Hersh DS, Shanmuganathan K, Díaz C, Massetti J, et al. Predictors of intramedullary lesion expansion rate on MR images of patients with subaxial spinal cord injury. *J Neurosurg Spine*. 2015;22(6):611-21.
214. Talbott JF, Whetstone WD, Readdy WJ, Ferguson AR, Bresnahan JC, Saigal R, et al. The Brain and Spinal Injury Center score: a novel, simple, and reproducible method for assessing the severity of acute cervical spinal cord injury with axial T2-weighted MRI findings. *J Neurosurg Spine*. 2015;23(4):495-504.
215. Haefeli J, Mabray MC, Whetstone WD, Dhall SS, Pan JZ, Upadhyayula P, et al. Multivariate Analysis of MRI Biomarkers for Predicting Neurologic Impairment in Cervical Spinal Cord Injury. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2017;38(3):648-55.
216. Pfyffer D, Freund P. Spinal cord pathology revealed by MRI in traumatic spinal cord injury. *Curr Opin Neurol*. 2021;34(6):789-95.
217. Smith AC, Albin SR, O'Dell DR, Berliner JC, Dungan D, Sevigny M, et al. Axial MRI biomarkers of spinal cord damage to predict future walking and motor function: a retrospective study. *Spinal Cord*. 2021;59(6):693-9.
218. Parthiban J, Zileli M, Sharif SY. Outcomes of Spinal Cord Injury: WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine*. 2020;17(4):809-19.
219. Berliner JC, O'Dell DR, Albin SR, Dungan D, Sevigny M, Elliott JM, et al. The influence of conventional T2 MRI indices in predicting who will walk outside one year after spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2021;2:1-7.
220. Pfyffer D, Huber E, Sutter R, Curt A, Freund P. Tissue bridges predict recovery after traumatic and ischemic thoracic spinal cord injury. *Neurology*. 2019;93(16):e1550-60.
221. Huber E, Lechappelle P, Sutter R, Curt A, Freund P. Are midsagittal tissue bridges predictive of outcome after cervical spinal cord injury? *Ann Neurol*. 2017;81(5):740-8.

222. O'Dell DR, Weber KA, Berliner JC, Elliott JM, Connor JR, Cummins DP, et al. Midsagittal tissue bridges are associated with walking ability in incomplete spinal cord injury. A magnetic resonance imaging case series. *J Spinal Cord Med*. 2020;43(2):268-71.
223. Vallotton K, Huber E, Sutter R, Curt A, Hupp M, Freund P. Width and neurophysiologic properties of tissue bridges predict recovery after cervical injury. *Neurology*. 2019;92(24):2793-802.
224. Jin C, Zhao L, Wu J, Jia L, Cheng L, Xie N. Traumatic cervical spinal cord injury: relationship of MRI findings to initial neurological impairment. *Eur Spine J*. 2021;30(12):3666-75.
225. Miyajima F, Furlan JC, Aarabi B, Arnold PM, Fehlings MG. Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome--prospective study with 100 consecutive patients. *Radiology*. 2007;243(3):820-7.
226. Skeers P, Battistuzzo CR, Clark JM, Bernard S, Freeman BJC, Batchelor PE. Acute Thoracolumbar Spinal Cord Injury: Relationship of Cord Compression to Neurological Outcome. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(4):305-15.
227. Farhadi HF, Kulkreja S, Minnema A, Vatti L, Gopinath M, Prevedello L, et al. Impact of Admission Imaging Findings on Neurological Outcomes in Acute Cervical Traumatic Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma*. 2018;35(12):1398-406.
228. Naduvanahalli Vivekanandaswamy A, Kannan M, Sharma V, Shetty AP, Maheswaran A, Kanna RM, et al. Prognostic utility of magnetic resonance imaging (MRI) in predicting neurological outcomes in patients with acute thoracolumbar spinal cord injury. *Eur Spine J*. 2020;29(6):1227-35.
229. Selden NR, Quint DJ, Patel N, d'Arcy HS, Papadopoulos SM. Emergency Magnetic Resonance Imaging of Cervical Spinal Cord Injuries: Clinical Correlation and Prognosis. *Neurosurgery*. 1999;44(4):785-92.
230. Vaccaro AR, Lehman RA, Hurlbert RJ, Anderson PA, Harris M, Hedlund R, et al. A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and neurologic status. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(20):2325-33.
231. Maeda T, Ueta T, Mori E, Yague I, Kawano O, Takao T, et al. Soft-tissue damage and segmental instability in adult patients with cervical spinal cord injury without major bone injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(25):E1560-6.
232. Song KJ, Kim GH, Lee KB. The efficacy of the modified classification system of soft tissue injury in extension injury of the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(15):E488-93.
233. Merter A, Karaca MA, Yazar T. Biomechanical effects of sequential resection of the posterior ligamentous complex on intradiscal pressure and resistance to compression forces. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2019;53(6):502-6.
234. Varma A, Hill EG, Nicholas J, Selassie A. Predictors of early mortality after traumatic spinal cord injury: a population-based study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(7):778-83.
235. Shibahashi K, Nishida M, Okura Y, Hamabe Y. Epidemiological State, Predictors of Early Mortality, and Predictive Models for Traumatic Spinal Cord Injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44(7):479-87.

236. Lalwani S, Singh V, Trikha V, Sharma V, Kumar S, Bagla R, et al. Mortality profile of patients with traumatic spinal injuries at a level I trauma care centre in India. *Indian J Med Res.* 2014;140(1):40-5.
237. Hagen EM. How to prevent early mortality due to spinal cord injuries? New evidence & update. *Indian J Med Res.* 2014;140(1):5-7.
238. D'souza MM, Choudary A, Poonia M, Kumar P, Khushu S. Diffusion tensor MR imaging in spinal cord injury. *Injury.* 2017;48(4):880-4.
239. Shabani S, Kaushal M, Budde M, Kurpad SN. Correlation of magnetic resonance diffusion tensor imaging parameters with American Spinal Injury Association score for prognostication and long-term outcomes. *Neurosurg Focus.* 2019;46(3):E2.
240. Kwon BK, Stammers AM, Belanger LM, Bernardo A, Chan D, Bishop CM, et al. Cerebrospinal fluid inflammatory cytokines and biomarkers of injury severity in acute human spinal cord injury. *J Neurotrauma.* 2010;27(4):669-82
241. Kwon BK, Streijger F, Fallah N, Noona VK, Bélanger LM, Ritchie L, et al. Cerebrospinal Fluid Biomarkers To Stratify Injury Severity and Predict Outcome in Human Traumatic Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma.* 2017;34(3):567-80.
242. Dalkilic T, Fallah N, Noonan VK, Salimi Elizei S, Dong K, Belanger L, et al. Predicting Injury Severity and Neurological Recovery after Acute Cervical Spinal Cord Injury: A Comparison of Cerebrospinal Fluid and Magnetic Resonance Imaging Biomarkers. *J Neurotrauma.* 2018;35(3):435-45.
243. Streijger F, Skinnider MA, Rogalski JC, Balshaw R, Shannon CP, Prudova A, et al. A Targeted Proteomics Analysis of Cerebrospinal Fluid after Acute Human Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma.* 2017;34(12):2054-68.
244. Park J, Yi D, Jang J, Hong J. The Value of MicroRNAs as an Indicator of the Severity and the Acute Phase of Spinal Cord Injury. *Ann Rehabil Med.* 2019;43(3):328-34-
245. Holmström U, Tsitsopoulos PP, Holtz A, Salci K, Shaw G, Mondello S, et al. Cerebrospinal fluid levels of GFAP and pNF-H are elevated in patients with chronic spinal cord injury and neurological deterioration. *Acta Neurochir (Wien).* 2020;162(9):2075-86.
246. Shi H, Xie L, Xu W, Cao S, Chen Y. Nogo-A Is a Potential Prognostic Marker for Spinal Cord Injury. *Dis Markers.* 2022;2022:2141854.
247. Kijima K, Kubota K, Hara M, Kobayakawa K, Yokota K, Saito T, et al. The acute phase serum zinc concentration is a reliable biomarker for predicting the functional outcome after spinal cord injury. *EBioMedicine.* 2019;41:659-69.
248. Heller RA, Sperl A, Seelig J, Haubruck P, Bock T, Werner T, et al. Zinc Concentration Dynamics Indicate Neurological Impairment Odds after Traumatic Spinal Cord Injury. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(5):421.
249. Yang X, Cheng S, Shao Z, Li Y, Wu H, Li X, Mao L, Zhou Z, Bai L, Mei X, Liu C. Apolipoprotein E Deficiency Exacerbates Spinal Cord Injury in Mice: Inflammatory Response and Oxidative Stress Mediated by NF- $\kappa$ B Signaling Pathway. *Front Cell Neurosci.* 2018;12:142.
250. Jha A, Lammertse DP, Coll JR, Charlifue S, Coughlin CT, Whiteneck GG, Worley G. Apolipoprotein E epsilon4 allele and outcomes of traumatic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2008;31(2):171-6.

251. Sun C, Ji G, Liu Q, Yao M. Apolipoprotein E epsilon 4 allele and outcomes of traumatic spinal cord injury in a Chinese Han population. *Mol Biol Rep.* 2011;38(7):4793-6.
252. Cheng X, Zheng Y, Bu P, Qi X, Fan C, Li F, Kim DH, Cao Q. Apolipoprotein E as a novel therapeutic neuroprotection target after traumatic spinal cord injury. *Exp Neurol.* 2018;299:97-108.
253. Aidinoff E, Front L, Itzkovich M, Bluvshstein V, Gelernter I, Hart J, et al. Expected spinal cord independence measure, third version, scores for various neurological levels after complete spinal cord lesions. *Spinal Cord.* 2011;49(8):893-6.
254. Maas AIR, Peul W, Thomé C. Surgical decompression in acute spinal cord injury: earlier is better. *Lancet Neurol* 2021;20(2):84-6,
255. Badhiwala JH, Wilson JR, Harrop JS, Vaccaro AR, Aarabi B, Geisler FH, et al. Early vs Late Surgical Decompression for Central Cord Syndrome. *JAMA Surg.* 2022;28. Epub ahead of print. PMID: 36169962
256. Cummins DP, Connor JR, Heller KA, Hubert JS, Kates MJ, Wisniewski KR, et al. Establishing the inter-rater reliability of spinal cord damage manual measurement using magnetic resonance imaging. *Spinal Cord Ser Cases.* 2019;5:20.

## **9** **Anexos**



## **ANEXO 1**

### **Estándares Internacionales para la Clasificación Neurológica de la Lesión Medular**



Nombre del Paciente: \_\_\_\_\_ Fecha/Hora del Examen: \_\_\_\_\_  
Nombre Examinador: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

## DERECHO

**MOTOR** **MÚSCULOS CLAVE** **SENSITIVO** **PUNTOS SENSITIVOS CLAVE**  
Tacto Fino (TFI) Pinchazo (PPI)

C2  
C3  
C4

**ESD**  
(Extremidad Superior Derecha)

Flexores del codo C5  
Extensores de muñeca C6  
Extensores de codo C7  
Flexores de los dedos de la mano C8  
Abductores del dedo meñique T1

**Comentarios (No músculo clave? Razón para NE? Dolor?, Condición No-LME?)**

T2  
T3  
T4  
T5  
T6  
T7  
T8  
T9  
T10  
T11  
T12  
L1

S2  
S3  
S4-5

**EID**  
(Extremidad Inferior Derecha)

Flexores de cadera L2  
Extensores de rodilla L3  
Dorsiflexores de tobillo L4  
Extensores del dedo gordo del pie L5  
Plantiflexores de Tobillo S1

(CAV) Contracción Anal Voluntaria (Si/No) ☐

**TOTALES DERECHA** (MAXIMO) (50)

### PARCIALES MOTORES

ESD ☐ + ESI ☐ = RMES TOTAL ☐ (50) EID ☐ + EII ☐ = RMEI TOTAL ☐ (25) MAX (25)

**NIVELES NEUROLÓGICOS** 1. SENSITIVO ☐ 2. MOTOR ☐  
Pasos 1-6 para clasificación como en el reverso

3. NIVEL NEUROLÓGICO DE LA LESIÓN (NLI) ☐

4. COMPLETA O INCOMPLETA? ☐  
Incompleta = Cualquier función motora o sensitiva en S4-5

5. ESCALA DEFICIENCIA DE ASIA (AIS) ☐

6. ZONA DE PRESERVACIÓN PARCIAL ☐  
Niveles más caudales con alguna preservación

## IZQUIERDO

**MOTOR** **MÚSCULOS CLAVE** **SENSITIVO** **PUNTOS SENSITIVOS CLAVE**  
Tacto Fino (TFI) Pinchazo (PPI)

C2  
C3  
C4

**ESI**  
(Extremidad Superior Izquierda)

Flexores del codo C5  
Extensores de muñeca C6  
Extensores de codo C7  
Flexores de los dedos de la mano C8  
Abductores del dedo meñique T1

**MOTOR** (RESULTADOS EN EL REVERSO)

0 = Parálisis total  
1 = Contracción visible palpable  
2 = Movimiento activo, gravedad eliminada  
3 = Movimiento activo, contra gravedad  
4 = Movimiento activo, contra resistencia moderada  
5 = Movimiento activo, contra resistencia total  
NE = No Examinable  
0\*, 1\*, 2\*, 3\*, 4\*, NE\* = Condición no relacionada con una-LME presente

**SENSITIVO** (RESULTADOS EN EL REVERSO)

0 = Ausente  
1 = Altereda  
2 = Normal o intacta  
NE = No examinable  
0\*, 1\*, NE\* = Presencia de una condición no relacionada a LME

**EII**  
(Extremidad Inferior Izquierda)

Flexores de cadera L2  
Extensores de rodilla L3  
Dorsiflexores de tobillo L4  
Extensores del dedo gordo del pie L5  
Plantiflexores de tobillo S1

(PAP) Presión Anal Profunda (Si/No) ☐

**TOTALES IZQUIERDA** (MAXIMO) (50)

### PARCIALES SENSITIVOS

TFD ☐ + TFI ☐ = TF TOTAL ☐ (112) PPD ☐ + PPI ☐ = PP TOTAL ☐ (112) MAX (56)

(En lesiones con función motora o sensitiva ausente en S4-5 solamente)

## Graduación Función Motora

- 0 = Parálisis total**
- 1 = Contracción visible o palpable
  - 2 = Movimiento activo, rango de movimiento (ROM) completo con eliminación de gravedad
  - 3 = Movimiento activo, ROM completo contra la gravedad
  - 4 = Movimiento activo, ROM contra resistencia moderada en una posición muscular específica
  - 5 = (Normal) movimiento activo, ROM completo contra resistencia total en una posición muscular específica esperada en una persona sin deficiencia alguna
- NE = No examinable** (por inmovilización, dolor intenso tal que impide calificar al paciente, amputación de una extremidad, o contractura de más del 50% del ROM)
- 0\*, 1\*, 2\*, 3\*, 4\*, NE\*** = Condición no relacionada con una LME, presente\*

## Graduación Sensitiva

- 0 = Ausente**
- 1 = Alterada, sea sensación disminuida o deficiente o hiper sensibilidad
  - 2 = Normal o intacta
- NE = No Examinable**
- 0\*, 1\*, NE\*** = Presencia de una condición no relacionada a LME\*
- \*Nota: Resultados mayores o sensibles anormales deben ser etiquetados con un "w" para indicar una deficiencia debido a una condición que no está relacionada a LME. La condición no relacionada a LME debe ser explicada en el recuadro de comentarios junto con la información de cómo se determina el puntaje con fines de clasificación (al menos normal/no normal para clasificación).

## Cuándo Examinar Músculos No-Clave:

En un paciente con una clasificación de un aparente AIS B, la función de músculos no clave en más de 3 niveles por debajo del nivel motor en cada lado deben ser examinados, para clasificar la lesión con más veracidad (diferenciar entre AIS B y C)

## Movimiento

	Nivel de raíz
<b>Hombro:</b> Flexión, extensión, abducción, aducción, rotación interna y externa	<b>C5</b>
<b>Codo:</b> Supinación	
<b>Codo:</b> Pronación	<b>C6</b>
<b>Muñeca:</b> Flexión	
<b>Dedos:</b> Flexión interfalángica proximal, extensión	<b>C7</b>
<b>Pulgar:</b> Flexión, extensión y abducción en el plano del pulgar	
<b>Dedos:</b> Flexión en articulación metacarpo falángica perpendicular a la palma	<b>C8</b>
<b>Dedos:</b> Abducción del índice	<b>T1</b>
<b>Cadera:</b> Aducción	<b>L2</b>
<b>Cadera:</b> Rotación externa	<b>L3</b>
<b>Cadera:</b> Extensión, abducción, rotación interna	<b>L4</b>
<b>Tobillo:</b> Flexión	
<b>Tobillo:</b> Inversión y evasión	
<b>Dedos del pie:</b> Extensión metacarpo falángica e interfalángica	
<b>Hallux o dedo gordo del pie:</b> flexión y abducción interfalángica proximal y distal	<b>L5</b>

## Escala de Deficiencia de ASIA (AIS)

- A = Completa.** No hay preservación de función motora ni sensitiva en los segmentos sacros S4-S5.
- B = Sensitiva Incompleta.** Hay preservación de la función sensitiva pero no de la motora en los segmentos sacros más distales S4-S5 (tacto fino o pinchazo en S4-S5 o presión anal profunda), y no hay preservación de función motora en más de tres niveles por debajo del nivel motor en uno u otro lado del cuerpo.
- C = Motora Incompleta.** Se preserva la función motora en los segmentos sacros más caudales durante la contracción anal voluntaria (CAV). O el paciente cumple con los criterios de lesión sensitiva incompleta (función sensitiva preservada en los segmentos sacros S4-S5 al examinar TF, PP o PAPI), con presencia de función motora en más de tres segmentos por debajo del nivel motor ipsilateral en cualquiera de los lados del cuerpo. (Esto incluye funciones de músculos clave o no-clave en más de tres segmentos por debajo del nivel motor para determinar el estado motor incompleto). Para AIS C – menos de la mitad de las funciones de músculo clave por debajo del NNL único tienen una clasificación de  $\geq$  mayor o igual que 3.
- D = Motora Incompleta.** El estado motor incompleto tal y como fue definido arriba, con al menos la mitad (la mitad o más) de la función de los músculos clave por debajo del NNL con una clasificación de músculo mayor o igual a  $\geq 3$ .
- E = Normal.** Si la sensibilidad y la función motora que se examinan con el ISNCSCI se clasifican como normales en todos los segmentos, y el paciente tenía déficits previos, entonces la clasificación AIS es E. Alguien sin LME inicial no recibe grado AIS.
- Usando NE:** Para documentar los niveles sensitivo, motor, y el NNL, el grado de Escala de Deficiencia de ASIA (AIS), y la zona de preservación parcial (ZPP) cuando resulta imposible determinarlos basados en los resultados del examen.

## Pasos en la Clasificación

El siguiente orden es el recomendado para determinar la clasificación en individuos con LME.

1. **Determinar el nivel sensitivo para el lado derecho e izquierdo.** El nivel sensitivo es el dermatoma intacto más caudal, tanto para sensación de pinchazo como para tacto fino.
2. **Determinar el nivel motor para el lado derecho e izquierdo.** Definido como el músculo más bajo que tiene al menos grado 3 (examinado en posición supinal, siempre y cuando las funciones de los músculos clave representados en segmentos arriba de ese nivel se juzguen como intactos (grado 5)).

**Nota:** en regiones en donde no hay dermatomas para examinar el nivel motor se presume que eso es el mismo que el nivel sensitivo, si la función motora por arriba de ese nivel es también normal.

3. **Determinar el nivel neurológico de la lesión (NNL).** Esto se refiere al nivel más caudal de la médula con sensibilidad intacta y fuerza en músculos antigravitatorios (3 o más) siempre y cuando la función sensitiva y motora rostralmente es normal (intacta) respectivamente. El NNL es el más caudal de los niveles motor y sensitivo determinados en pasos 1 y 2.
4. **Determinar si la lesión es Completa o Incompleta.** (i.e. ausencia o presencia de preservación sacral). Si la contracción anal voluntaria = No. Y todos los resultados sensitivos S4-S5 = 0. Y presión anal profunda = No, entonces la lesión es Completa. De otra forma, la lesión es Incompleta.
5. **Determinar el Grado de la Escala de Deficiencia de ASIA (AIS).** Es la lesión Completa? si SI, AIS=A

**Esta lesión Motora Completa? si SI, AIS=B**

**No** ↓ (No=contracción anal voluntaria O función motora en más de tres niveles por debajo del nivel motor en cualquier lado, si el paciente tiene una clasificación sensitiva incompleta.)

**Al menos la mitad (la mitad o más) de los músculos clave por debajo del nivel neurológico de la lesión están en grado 3 o mejor?**

**No** ↓ **AIS=C** **SI** ↓ **AIS=D**

**Si la sensibilidad y la función motora son normales en todos los segmentos, AIS = E**

**Nota:** AIS E se usa en exámenes de seguimiento cuando una persona con una LME documentado ha recuperado función normal. Si durante el examen inicial no se encuentra déficit, la persona está neurológicamente intacta y la Escala de Deficiencia de ASIA no aplica.

6. **Determinar la zona de preservación parcial (ZPP).**

La ZPP se usa sólo en lesiones con alguna función motora (no CAV)

O función sensitiva (no SAPI, no sensibilidad al TF y pinchazo) en los segmentos sacros más distales S4-S5, y se refiere a aquellos dermatomas y motomas distales a los niveles sensitivo y motor que permanecen parcialmente innervados. Con preservación sacra o función sensitiva, la ZPP sensitiva no es aplicable y por lo tanto "NA" se registra en la casilla



**NORMAS INTERNACIONALES PARA LA CLASIFICACION NEUROLÓGICA DE LESION DE LA MEDULA ESPINAL**



INTERNATIONAL SPINAL CORD SOCIETY

## **ANEXO 2**

### **Dictamen del Comité de Ética de la Investigación de A Coruña-Ferrol**





XUNTA DE GALICIA  
CONSELLERÍA DE SANIDADE



SERVIZO  
GALEGO  
de SAÚDE

Xerencia do Servizo  
Galego de Saúde



## DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN DE A CORUÑA - FERROL

Natalia Cal Purriños, Secretaria del Comité de Ética de la Investigación de A Coruña-Ferrol

### CERTIFICA:

Que este Comité evaluó en su reunión del día 20/07/20 el estudio:

**Título:** Rehabilitación en la lesión medular aguda de etiología traumática: valor pronóstico de las técnicas de imagen

**Versión:** v3 de 15 de junio de 2020

**Promotor/a:** Rubén Mora Boga

**Investigador/a:** Rubén Mora Boga; Antonio Montoto Marqués

**Código de Registro:** 2020/371

Y que este Comité, tomando en consideración la pertinencia del estudio, el conocimiento disponible, los requisitos éticos, metodológicos y legales exigibles a los estudios de investigación con seres humanos, sus muestras o registro y los Procedimientos Normalizados de Trabajo del Comité, emite un dictamen **FAVORABLE** para la realización del citado estudio.

Documento asinado dixitalmente por:  
Natalia Cal Purriños (30/07/2020 20:18)  
<https://sede.xunta.gal/ver?dcve=SAOC-P4G4-BOAH-OF4O-TYSG-W159-6133-1215-21>



Xacobeo 2021



**XUNTA DE GALICIA**  
CONSELLERÍA DE SANIDADE



**SERVIZO  
GALEGO  
de SAÚDE**

**Xerencia do Servizo  
Galego de Saúde**



**Y HACE CONSTAR QUE:**

1. El Comité Territorial de Ética de la Investigación de A Coruña-Ferrol cumple los requisitos legales vigentes
2. La composición actual del Comité Territorial de Ética de la Investigación de A Coruña-Ferrol es:

**Carmen Mella Pérez (Presidenta).** Médica especialista en Medicina Interna. Área de Gestión Integrada Ferrol.

**Angel Lopez-Silvarrey Varela. (Vicepresidente).** Médico especialista en Pediatría. Área de Gestión Integrada A Coruña.

**Natalia Cal Purriños. (Secretaria).** Licenciada en Derecho. Fundación "Profesor Novoa Santos". A Coruña.

**Sonia Pértiga Díaz. (Vicesecretaria).** Matemática. Área de Gestión Integrada A Coruña.

**Juana M<sup>a</sup> Cruz del Río.** Trabajadora social. Consellería de Sanidad.

**María Ángeles Freire Fojo.** Farmacéutica. Especialista en Farmacia Hospitalaria. Área de Gestión Integrada Ferrol.

**Portal González Lorenzo.** Médica especialista en Medicina Familiar y Comunitaria. Área de Gestión Integrada Ferrol.

**Isaac Martínez Bendayán.** Médico especialista en Cardiología. Área de Gestión Integrada A Coruña.

**María Otero Santiago.** Médica especialista en Medicina Preventiva y Salud Pública. Área de Gestión Integrada A Coruña.

**Alejandro Pazos Sierra.** Médico. Universidad de A Coruña.

**Gonzalo Peña Pérez.** Médico especialista en Cardiología. Hospital de San Rafael. A Coruña.

**Carlos Rodríguez Moreno.** Médico especialista en Farmacología Clínica. Área de Gestión Integrada Santiago.

**José M<sup>a</sup> Rumbo Prieto.** Diplomado en Enfermería. Área de Gestión Integrada Ferrol.

**María Isabel Sastre Gervás.** Farmacéutica Atención Primaria. Área de Gestión Integrada A Coruña.

Para que conste donde proceda, y a petición de quien corresponda, en A Coruña.

**La Secretaria del Comité Territorial de Ética de la Investigación de A Coruña – Ferrol,**

**Natalia Cal Purriños**

Documento asinado dixitalmente por:  
Natalia Cal Purriños (30/07/2020 20:18)  
<https://sedexunta.gal/ove?dve=SAOC-PAG4-BOAH-OF4O-TYSG-W159-6133-1215-21>



**Xacobeo 2021**

## ANEXO 3

### Publicaciones derivadas de la tesis doctoral

- Mora-Boga R, Vázquez-Muñños O, Pérttega-Díaz S, Salvador-de la Barrera S, Ferreiro-Velasco ME, Rodríguez-Sotillo A, Meijide-Failde RM, Montoto-Marqués A. Neurological recovery after traumatic spinal cord injury: prognostic value of magnetic resonance. *Spinal Cord*. 2022 Jun;60(6):533-539. doi: 10.1038/s41393-022-00759-0. Epub 2022 Feb 1. PMID: 35105961.
- Mora-Boga R, Vázquez-Muñños O, Pérttega-Díaz S, Salvador-de la Barrera S, Ferreiro-Velasco ME, Rodríguez-Sotillo A, Meijide-Failde RM, Montoto-Marqués A. Evaluation of the prognostic value of extra-parenchymal changes in traumatic spinal cord injury, assessed by magnetic resonance imaging. *J Spinal Cord Med*. 2022 Nov 28:1-9. doi: 10.1080/10790268.2022.2134627. Epub ahead of print. PMID: 36441034.
- Mora-Boga R, Vázquez Muñños O, Pérttega Díaz S, Meijide-Faílde RM, Rodríguez-Sotillo A, Ferreiro-Velasco ME, Salvador-de la Barrera S, Montoto-Marqués A. Prognostic value of early magnetic resonance imaging in the morbidity and mortality of traumatic spinal cord injury. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2022 Sep 3:S2173-5727(22)00197-7. doi: 10.1016/j.medine.2022.07.020. Epub ahead of print. PMID: 36068148.



## ANEXO 4

### Comunicaciones derivadas de la tesis doctoral

- Mora Boga R, Díaz Recarey ME, Montoto Marqués A, Ferreiro Velasco ME, Salvador de la Barrera S, Rodríguez Sotillo A. Estudio de la mortalidad en la lesión medular traumática en función de los hallazgos en la imagen de resonancia magnética. Presentado en: XXXIX Jornadas Nacionales de la Sociedad Española de Paraplejia; 2022 Nov 16-18; Granada, España.
  
- Mora Boga R, Díaz Recarey ME, Montoto Marqués A, Ferreiro Velasco ME, Salvador de la Barrera S, Rodríguez Sotillo A. Influencia el grado de compresión del cordón medular en la evolución neurológica de la lesión medular traumática. Presentado en: XXXIX Jornadas Nacionales de la Sociedad Española de Paraplejia; 2022 Nov 16-18; Granada, España.
  
- Díaz Recarey ME, Mora Boga R, Vázquez Fernández R, Palencia Vidal A, Ferreiro Velasco ME, Salvador de la Barrera S. Tamaño de las hemorragias parenquimatosas como factor pronóstico de evolución neurológica en la lesión medular traumática. Presentado en: XXXIX Jornadas Nacionales de la Sociedad Española de Paraplejia; 2022 Nov 16-18; Granada, España.

