

**INVESTIGACIÓN**  
2010



**REPERCUSIONES CENTRALES Y  
PERIFÉRICAS DEL EJERCICIO FÍSICO,  
HIPOXIA Y EL FRÍO EN LESIONADOS  
MEDULARES**

**FUNDACIÓN MAPFRE**

[www.fundacionmapfre.org](http://www.fundacionmapfre.org)

## Investigador Principal

### **Francisco Casimiro Javierre Garcés**

Dr. en Medicina y Cirugía. Profesor Dpto. de Ciencias Fisiológicas II  
Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona

## Equipo Investigador

### **David Bong**

Dr. en Medicina. Investigador  
Instituto Poal de Reumatología. Barcelona

### **Elisabet Guillanjó Casanoves**

Dra. INEF. Colaboradora de investigación  
Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona

### **Ingrid Möller Parera**

Lda. en Medicina y Cirugía. Directora  
Instituto Poal de Reumatología. Barcelona

### **José Luis Ventura farre**

Dr. en Medicina. Jefe Clínico  
Hospital Universitario de Bellvitge. Barcelona

### **Jossep Medina Casanovas**

Dr. en Psicología y Fisioterapia. Jefe de Rehabilitación funcional  
Instituto Guttman. Badalona. Barcelona

### **Juan Ramón Barbany Cairó**

Dr. en Medicina. Profesora Dpto. de Ciencias Fisiológicas II  
Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona

### **Juan Vidal Jamsó**

Dr. en Medicina y Cirugía. Director lesiones medulares  
Instituto Guttman Hospital de Neurorehabilitación. Badalona. Barcelona

### **María Isabel Miguel Pérez**

Dra. en Medicina y Cirugía. Profesora Dpto. de Ciencias Fisiológicas II  
Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona

### **María del Carmen Delicado Gómez**

Lda. en Medicina y Cirugía. Colaboradora de investigación  
Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona

### **Tomás Domingo Rufes**

Ldo. en Medicina y Cirugía. Médico adjunto  
Hospital universitario de Bellvitge. Barcelona

# Índice

	Página
1. RESUMEN	4
2. PLAN DE TRABAJO	4
2.1. Fase de preparación de la metodología	4
2.2. Resultados	5
2.2.1. Participantes	5
2.2.2. Prueba triangular máxima	5
2.2.3. Valores ecográficos de diámetros y flujos antes y después de la prueba de esfuerzo	6
2.2.4. Prueba submáxima: datos ergoespirométricos, ecográficos y de cinética de oxígeno.	7
2.2.5. Resultados ergoespirómétricos	7
2.2.6. Parámetros durante el esfuerzo en la prueba submáxima.	8
3. RESPUESTA VASCULAR	8
4. CINÉTICA DE OXÍGENO, CO <sub>2</sub> Y VENTILACIÓN	9
4.1. Parámetros para el Oxígeno	9
4.2. Parámetros para la producción de CO <sub>2</sub>	10
4.3. Parámetros para la producción de VE	10
5. ECOGRAFÍA DE LOS FLUJOS Y LOS DIÁMETROS EN LA PRUEBA SUBMÁXIMA	11
6. TEST DE ISQUEMIA	12
7. CONCLUSIONES	12
7.1. Metodológicas	12
7.2. Académicas	12
7.3. Específicas	12
7.4. Transferencia de resultados	12

## 1. RESUMEN

Según las máximas instancias deportivas, incluyendo el Comité Paralímpico Internacional, existe una necesidad de establecer medidas específicas, aplicables y válidas para reducir los factores de riesgo que pueden afectar a los practicantes de deportes de invierno, habida cuenta del gran número de practicantes con lesión medular (LM) (recreacional) y del aumento en la intensidad y el volumen de entrenamiento y de exigencia competitiva de los deportistas de alto rendimiento en esta modalidad.

Se plantea la evaluación de un grupo de 20 voluntarios sanos con LM y 20 voluntarios sanos sin LM en un ambiente de referencia (temperatura ambiente entre 20-24 °C, nivel del mar), a 3000 m de altura simulada y a 3000 m de altura simulada y en ambiente frío (aproximadamente 5 °C).

La monitorización que se ha realizado ha sido no invasiva, con una evaluación ventilatoria, cardíaca, metabólica y vascular a nivel sistémico, regional y local (del propio músculo) en tiempo real y como consecuencia de la actividad física en esas condiciones, valorando las diferencias en la respuesta al esfuerzo entre los músculos activos, los no activos y los músculos situados por debajo de la LM (en el grupo con LM).

Una exploración como la referida en el presente protocolo supone la colaboración de grupos con acreditada experiencia en cada una de sus áreas específicas y representa una visión original y novedosa, que podrá ofrecer datos que contribuyan de manera significativa al conocimiento básico sobre la adaptación al esfuerzo de las personas con LM y transferir a la práctica dichos conocimientos, determinando las causas de algunas de las consecuencias adversas debido a la práctica de actividad física en las condiciones referidas, tanto a nivel de alta competición como recreacional, pudiendo promover acciones dirigidas a reducir la incidencia de las mismas.

En la presente ayuda se ha realiza la evaluación de un grupo de voluntarios sanos con lesión medular (LM) y otro de voluntarios sanos sin LM en tres situaciones diferentes:

- un ambiente de referencia (temperatura ambiente entre 20-24 °C, nivel del mar),
- a 3000 m de altura simulada y
- a 3000 m de altura simulada y en ambiente frío (aproximadamente 5 °C).

La monitorización que se ha realizando es no invasiva, con una evaluación ventilatoria, cardíaca, metabólica y vascular a nivel sistémico, regional y local (del propio músculo) en tiempo real y como consecuencia de la actividad física en esas condiciones, valorando las diferencias en la respuesta al esfuerzo entre los músculos activos, los no activos y los músculos situados por debajo de la LM (en el grupo con LM).

El presente proyecto ha supuesto la colaboración entre diferentes grupos con un análisis novedoso y complejo metodológicamente de la respuesta cardio-circulatorio y ventilatorio. Paralelamente, ha posibilitado poner a

punto una instalación (cámara hipobárica) con capacidad para disminuir la temperatura en su interior hasta 5°C, con un salto térmico respecto al exterior superior a 20° C y en un ambiente hipobárico.

## 2. PLAN DE TRABAJO

### 2.1. Fase de preparación de la metodología

Entre los meses de enero y febrero de 2011, se fueron realizando diferentes pruebas con el objetivo de optimizar la metodología y aprovechar al máximo el esfuerzo desarrollado para llevar adelante el presente protocolo.

En concreto, se realizaron pruebas a 5 lesionados medulares, con el objetivo de optimizar el protocolo y ver la idoneidad del equipo para la exploración que se iba a realizar. Por lo novedoso de la técnica utilizada en la aproximación a la capacidad funcional de los participantes se creyó imprescindible. Resultó ser un acierto dado que los resultados sirvieron de entrenamiento efectivo para el grupo de exploradores que iban a participar.

Además, técnicamente se observó algunas deficiencias en algunos de los sistemas utilizados y se intervino para solventar esos defectos:

- **Sistema de imagen.** El sistema utilizado hasta entonces por nuestro grupo permitía obtener datos del diámetro de calidad pero, sin embargo, no se conseguían datos adecuados y con suficiente rapidez de adquisición del flujo. A partir de ahí, el objetivo fue conseguir un sistema adecuado que permitiera imágenes adecuadas y que se pudieran conseguir con suficiente rapidez. Desde mayo, el grupo cuenta con un sistema nuevo de ecografía (General Electric Systems 4S) que fue usado de manera exclusiva para el presente proyecto.
- **Cámara hipobárica.** El presente proyecto está permitiendo la puesta en marcha de técnicas nuevas que permitirán en fases sucesivas la profundización de las líneas iniciadas. En nuestro grupo se disfruta de una cámara hipobárica que se ha ido optimizando. Para este protocolo se debe conseguir que la cámara hipóxica hipobárica pueda enfriar a temperatura inferiores a 5 grados, con un salto térmico respecto al exterior de aproximadamente 20°C y en un ambiente hipobárico. Tecnológicamente se ha convertido en un reto. La existencia de una atmósfera hipobárica significa de un menor número de moléculas que transmitan el frío y, al revés, una muy importante facilidad para la pérdida energética hacia el exterior.

Al final, se ha conseguido optimizar la tecnología y poder someter al ambiente frío e hipobárico a los voluntarios participantes.

Estos inconvenientes tecnológicos provocaron un retraso respecto al calendario previsto por nuestro grupo que pretendía haber llegado a la evaluación del 50% del total de la muestra antes del mes de agosto.

Por otro lado, este periodo se utilizó para seguir realizando test y pruebas que permitieran optimizar la recogida de datos. Esto ha hecho que, sobre la metodología descrita (destinada a la respuesta ante una hiperemia activa producida por el esfuerzo físico) en el proyecto aprobado, se ha implementado la posibilidad de observar la respuesta ante una respuesta reactiva tras una isquemia de 4 minutos, tanto en el territorio radial como en el de la arteria tibial.

## 2.2. Resultados

### 2.2.1. Participantes

En total se reclutaron a 40 sujetos sanos, voluntarios y físicamente activos que se distribuyeron en los dos grupos en dependencia de la característica de presentar lesión medular (n=20) o no presentar lesión medular (n=20).

Todos los participantes había realizado un mínimo de 3 horas de actividad física semanales durante el último año.

El grupo de lesionados medulares había completado su programa de rehabilitación hospitalaria y no se había producido ninguna complicación relevante en los 3 meses previos a la participación en las pruebas.

Todos los participantes, tras ser informados de la totalidad del protocolo, firmaron el Consentimiento Informado para su inclusión definitiva en el estudio.

Las diferentes evaluaciones y recogida de datos se realizó de acuerdo al protocolo aprobado previamente por el Comité de Bioética de la Universidad de Barcelona.

Respecto a la muestra y sus características, no se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las características generales de los grupos, para la edad, altura, peso o sexo.

**Tabla 1.** Características generales de la muestra.

Muestra	Edad	Altura	Peso	Sexo (% varones)
Lesionados	31,4±8,4	1,79±0,11	67,0±9,6	80,0
No lesionados	36,3±9,7	1,74±0,07	77,3±19,6	80,0

Las características de la lesión del grupo de lesionados medulares fue:

**Tabla 2.** Características del grupo de sujetos con lesión medular.

Nivel lesional	T4 (23%); T10 y T12 15% cada una; C7, T2, T3, T5, L1, L3 8% cada una
Completa/incompleta	60% / 40%
ASIA	A: 62%, B:23%, C:8%, D:8%

### 2.2.2. Prueba triangular máxima

Se realizó prueba de esfuerzo progresiva máxima en ergómetro de brazos (model Angio, Lode, Gröningen, Nether-

lands). El estudio se llevó a cabo en el laboratorio del Departamento de Ciencias Fisiológicas II de la Facultad de Medicina, Campus de Bellvitge, de la Universidad de Barcelona.

La prueba empezaba con una carga inicial de 0 vatios, aumentando la carga en 10 vatios cada minuto hasta llegar a la máxima capacidad de esfuerzo. La velocidad fue de 50-60 rev/min.

El intercambio de gases fue medido por un sistema de análisis de gases "ventilación a ventilación" (model Metasys TR-plus, Brainware, La Vallete, France) equipado con un pneumotacógrafo y una máscara de doble vía. (Hans Rudolph, Kansas, USA).

Cada sujeto realizó tres pruebas iguales pero en circunstancias ambientales diferentes (Nivel del mar, 3000 m de altura simulada y 3000 m de altura simulada y ambiente de 5°C). El orden de su realización fue aleatorizado.

#### Parámetros de reposo:

**Tabla 3.** Valores de reposo de los parámetros ventilatorios para el grupo de los lesionados medulares.

	0 m	LM 3000 m	3000 m + frío
FREQ. RESP (resp/min)	25.0±1.9	19.0±0.7	19.0±0.7
VEBTPS (L/min)	12.05±0.34	11.89±0.33	13.74±0.86
VT (L/min)	0.498±0.027	0.574±0.016	0.641±0.042
VO2 /kg (mL/kg/min)	6.34±0.22	8.18±0.35	9.67±0.58
VO2 (L/min)	0.409±0.017	0.541±0.020	0.669±0.047
QR	0.747±0.019	0.827±0.009	0.815±0.007
VCO2 (L/min)	0.297±0.010	0.448±0.015	0.542±0.038
FeO2 (%)	16.95±0.12	15.41±0.18	15.13±0.09
FeCO2 (%)	3.05±0.08	4.64±0.14	4.82±0.07
TRUEO2 (%)	4.12±0.14	5.58±0.21	5.93±0.09
ERO2	30.95±0.90	23.39±0.91	21.02±0.30
ERCO2	41.70±0.98	28.20±0.90	25.82±0.41
FC (lat/min)	79.5±6.5	96.8±1.0	94.6±1.3
O2 Pulse	4.19±0.17	5.66±0.25	6.98±0.48
PETO2 (mmHg)	105.45±1.06	89.13±1.30	85.78±0.88
PETCO2 (mmHg)	33.18±0.58	50.75±0.94	52.00±0.83

El los parámetros observados en reposo, previos a la realización de la prueba de esfuerzo se observaron cambios en ambos grupos. El consumo de oxígeno y la producción de CO<sub>2</sub> aumento de manera significativa pero sin modificaciones en la frecuencia respiratoria, el volumen corriente ni en la ventilación total por minuto. Esto se consiguió con un mejor aprovechamiento de los gases movilizables, mejorando la cantidad de oxígeno que se extraía de la ventilación y observando un aumento del CO<sub>2</sub> en el aire espirado. Este comportamiento fue similar entre los dos grupos.

**Tabla 4.** Valores de reposo de los parámetros ventilatorios para el grupo de los NO Lesionados medulares.

	0 m	NO LM 3000 m	3000 m + frío
FREQ. RESP (resp/min)	20.4±1.3	20.8±1.2	19.2±0.7
VEBTPS (L/min)	13.4±1.2	13.4±0.8	14.3±0.9
VT (L/min)	0.649±0.054	0.626±0.032	0.668±0.037
VO <sub>2</sub> /kg (mL/kg/min)	6.19±0.63	9.12±0.23	10.72±0.75
VO <sub>2</sub> (L/min)	0.454±0.041	0.713±0.045	0.782±0.049
QR	1.06±0.11	0.83±0.01	0.84±0.01
VCO <sub>2</sub> (L/min)	0.444±0.044	0.585±0.035	0.651±0.039
FeO <sub>2</sub> (%)	16.6±0.1	14.6±0.1	14.3±0.1
FeCO <sub>2</sub> (%)	4.2±0.2	5.4±0.1	5.7±0.1
TRUEO <sub>2</sub> (%)	4.2±0.1	6.5±0.1	6.8±0.1
ERO <sub>2</sub>	30.1±1.1	19.2±0.4	18.4±0.4
ERCO <sub>2</sub>	31.8±1.1	23.3±0.5	21.9±0.5
FC (lat/min)	89.1±2.9	94.8±2.2	90.1±2.7
O <sub>2</sub> Pulse	5.2±0.4	7.6±0.5	8.9±0.5
PETO <sub>2</sub> (mmHg)	104.5±0.6	82.9±0.8	82.8±0.8
PETCO <sub>2</sub> (mmHg)	41.4±2.2	55.1±0.8	55.0±0.8

#### Parámetros máximos durante la prueba máxima:

**Tabla 5.** Valores máximos de los parámetros ventilatorios para el grupo de los lesionados medulares.

	0 m	LM 3000 m	3000 m + frío
Carga náj. (vatios)	101.0±7.1	76.3±4.1	91.5±4.1
FREQ. RESP (resp/min)	42.7±2.5	45.3±3.1	42.9±2.4
VEBTPS (L/min)	63.9±4.0	64.0±3.8	71.2±4.4
VT (L/min)	1.422±0.085	1.344±0.056	1.441±0.055
VO <sub>2</sub> /kg (mL/kg/min)	29.8±1.8	34.9±2.2	38.3±2.0
VO <sub>2</sub> (L/min)	1.981±0.151	2.333±0.150	2.676±0.158
QR	0.993±0.024	1.115±0.019	1.135±0.010
VCO <sub>2</sub> (L/min)	1.916±0.120	2.609±0.173	2.999±0.158
FeO <sub>2</sub> (%)	17.1±0.1	16.3±0.1	16.1±0.1
FeCO <sub>2</sub> (%)	3.7±0.1	4.9±0.1	5.3±0.1
TRUEO <sub>2</sub> (%)	3.7±0.1	4.4±0.1	4.6±0.1
ERO <sub>2</sub>	33.4±1.0	27.6±0.6	26.6±0.6
ERCO <sub>2</sub>	33.9±0.8	24.8±0.4	23.3±0.5
FC (lat/min)	162.6±1.8	160.8±1.3	159.1±1.4
O <sub>2</sub> Pulse	12.2±0.9	14.5±0.9	16.8±1.0
PETO <sub>2</sub> (mmHg)	112.6±0.9	105.3±0.9	102.8±1.1
PETCO <sub>2</sub> (mmHg)	35.1±0.7	46.3±0.9	49.7±1.1

Respecto a los parámetros máximos observados se demostraron diferencias dependientes de la altura o del frío en ambos grupos. Así, se observó un consumo de oxígeno aumentado en más del 30% en las pruebas reali-

zadas a 3000 m (independientemente de hacerlo en ambiente frío o no). Este comportamiento fue homogéneo en los dos grupos de estudio.

**Tabla 6.** Valores máximos de los parámetros ventilatorios para el grupo de los NO lesionados medulares.

	0 m	NO LM 3000 m	3000 m + frío
Carga náj. (vatios)	108.3±5.8	99.8±5.4	94.1±5.4
FREQ. RESP (resp/min)	34.1±1.3	36.7±1.8	35.9±1.6
VEBTPS (L/min)	72.1±4.6	73.3±4.6	69.6±3.6
VT (L/min)	1.910±0.095	1.868±0.103	1.702±0.086
VO <sub>2</sub> /kg (mL/kg/min)	28.2±1.8	38.3±2.0	36.7±2.0
VO <sub>2</sub> (L/min)	2.087±0.120	2.853±0.151	2.760±0.148
QR	1.078±0.011	1.121±0.014	1.121±0.016
VCO <sub>2</sub> (L/min)	2.251±0.129	3.239±0.196	3.089±0.168
FeO <sub>2</sub> (%)	17.2±0.1	15.8±0.1	15.9±0.1
FeCO <sub>2</sub> (%)	3.9±0.1	5.5±0.1	5.4±0.1
TRUEO <sub>2</sub> (%)	3.6±0.1	4.9±0.1	4.8±0.1
ERO <sub>2</sub>	34.2±0.5	25.2±0.4	25.5±0.4
ERCO <sub>2</sub>	31.7±0.5	22.5±0.2	22.8±0.4
FC (lat/min)	159.2±0.8	160.2±1.6	153.4±1.7
O <sub>2</sub> Pulse	13.1±0.8	17.9±0.9	18.1±1.0
PETO <sub>2</sub> (mmHg)	111.2±0.8	101.0±0.8	100.4±0.6
PETCO <sub>2</sub> (mmHg)	37.6±0.7	50.3±0.6	50.7±0.7

Se volvió a repetir la ausencia de diferencias para parámetros ventilatorios, tanto la frecuencia ventilatoria, volumen corriente y VE. Esto provoca unas grandes diferencias para parámetros como el equivalente respiratorio o la fracción espirada para el oxígeno o el CO<sub>2</sub>, sin apreciar diferencias significativas en el comportamiento intergrupos.

### 2.2.3. Valores ecográficos de diámetros y flujos antes y después de la prueba de esfuerzo

Los valores ecográficos supusieron un reto metodológico, dado que se tuvo que estandarizar la rutina y conseguir los elementos tecnológicos adecuados.

Al analizar los resultados observados se puede ver importantes aumentos del flujo en las extremidades superiores sin un aumento excesivamente elevado del diámetro. Por el contrario en la arteria tibial posterior se observa una disminución de los valores en la prueba realizada a 0 metros mientras que a 3000 metros y a 3000 m en atmósfera fría, se observa una evolución diferente, con modificaciones contrarias a las observadas en los 0 metros.

Un análisis pormenorizado y una visión más completa de esta adaptación serán necesarios para conocer las consecuencias de esta adaptación.

**Tabla 7.** Valores de diámetro y flujo para los dos grupos en los diferentes medios en los que se realizó la prueba.

			LESIONADOS			NO LESIONADOS		
			Braquial dcho.	Radial dcho.	Tibial posterior	Braquial dcho.	Radial dcho.	Tibial posterior
0 metros	Basal	Flujo (ml/min)	37.15±6.4	9.82±3.17	17.41±10.89	35.27±3.32	9.92±1.68	16.42±0.38
		φ (cm)	0.53±0.02	0.28±0.02	0.26±0.03	0.53±0.02	0.29±0.01	0.26±0.02
	Post. Test	Flujo (ml/min)	95.30±13.85	22.59±3.21	6.29±2.24	94.92±22.22	22.22±3.15	6.74±1.34
		φ (cm)	0.58±0.03	0.30±0.01	0.26±0.02	0.59±0.03	0.30±0.01	0.28±0.02
3000 metros	Basal	Flujo (ml/min)	21.77±5.98	5.77±1.61	7.97±3.16	27.06±6.31	5.37±2.40	5.54±0.23
		φ (cm)	0.48±0.03	0.26±0.01	0.26±0.02	0.51±0.02	0.26±0.02	0.25±0.02
	Post. Test	Flujo (ml/min)	99.61±19.70	7.57±2.00	10.00±4.08	92.61±16.80	8.79±3.95	8.48±1.15
		φ (cm)	0.56±0.04	0.28±0.02	0.26±0.02	0.58±0.02	0.28±0.01	0.25±0.02
3000 metros+frío	Basal	Flujo (ml/min)	23.38±4.15	1.71±0.25	5.24±2.14	24.31±7.77	1.75±0.37	4.30±0.54
		φ (cm)	0.52±0.03	0.24±0.01	0.25±0.01	0.53±0.05	0.24±0.02	0.25±0.02
	Post. Test	Flujo (ml/min)	97.72±12.20	5.52±1.03	11.28±5.82	93.89±26.90	5.10±0.78	10.14±7.61
		φ (cm)	0.58±0.02	0.27±0.01	0.25±0.02	0.57±0.03	0.26±0.02	0.24±0.03

#### 2.2.4. Prueba submáxima: datos ergoespirométricos, ecográficos y de cinética de oxígeno

Se realizó una prueba tras la realización de la prueba máxima. La misma se hizo en cicloergómetros de brazos con una carga correspondiente al 30% de la carga máxima alcanzada, realizando el esfuerzo con el brazo dominante.

#### 2.2.5. Resultados ergoespirométricos

**Tabla 8.** Valores de reposo para el grupo de lesionados medulares en la prueba submáxima.

	0 m	LM 3000 m	3000 m + frío
FREQ. RESP (resp/min)	24.0±1.8	21.4±1.5	22.9±1.4
VEBTPS (L/min)	13.4±0.9	14.7±1.4	16.8±0.8
VT (L/min)	0.536±0.035	0.649±0.064	0.657±0.039
VO <sub>2</sub> /kg (mL/kg/min)	6.1±0.5	9.7±0.9	9.7±0.6
VO <sub>2</sub> (L/min)	0.406±0.031	0.670±0.070	0.674±0.045
QR	0.775±0.028	0.884±0.026	0.928±0.034
VCO <sub>2</sub> (L/min)	0.305±0.016	0.589±0.066	0.616±0.035
FeO <sub>2</sub> (%)	17.2±0.2	15.4±0.2	16.0±0.2
FeCO <sub>2</sub> (%)	2.90±0.16	4.91±0.25	4.52±0.21
TRUEO <sub>2</sub> (%)	3.8±0.3	5.5±0.3	4.9±0.2
ERO <sub>2</sub>	34.1±2.4	22.8±1.3	25.7±1.2
ERCO <sub>2</sub>	44.0±2.5	26.0±1.4	28.0±1.4
PETO <sub>2</sub> (mmHg)	111.3±1.9	95.0±1.6	97.9±1.4
PETCO <sub>2</sub> (mmHg)	29.7±1.2	47.9±1.5	47.1±1.3

En el grupo de lesionados se observó una marcada tendencia a necesitar una mayor ventilación consiguién-

dola a expensas de aumentar el volumen corriente, cuando se comparan los datos del nivel del mar con los de 3000 metros. Existen diferencias estadísticamente significativas para el consumo de oxígeno y la producción de CO<sub>2</sub>. Lo mismo para los índices y presiones al final de la ventilación.

La evolución observada en el grupo de no lesionados medulares no mostraron grandes diferencias, apareciendo un proceso ventilatorio similar al observado en los lesionados medulares (Tabla 9).

**Tabla 9.** Valores de reposo para el grupo de NO lesionados medulares en la prueba submáxima.

	0 m	NO LM 3000 m	3000 m + frío
FREQ. RESP (resp/min)	19.5±1.0	22.9±0.7	21.9±1.0
VEBTPS (L/min)	16.3±1.2	19.8±1.3	22.0±2.4
VT (L/min)	0.770±0.064	0.784±0.056	0.851±0.093
VO <sub>2</sub> /kg (mL/kg/min)	6.1±0.4	10.3±0.6	11.9±1.0
VO <sub>2</sub> (L/min)	0.463±0.031	0.771±0.048	0.905±0.089
QR	0.947±0.025	1.010±0.032	0.969±0.035
VCO <sub>2</sub> (L/min)	0.433±0.030	0.781±0.055	0.904±0.126
FeO <sub>2</sub> (%)	17.4±0.1	16.1±0.1	15.7±0.2
FeCO <sub>2</sub> (%)	3.36±0.09	4.83±0.09	4.95±0.15
TRUEO <sub>2</sub> (%)	3.5±0.1	4.8±0.1	5.1±0.2
ERO <sub>2</sub>	35.4±1.4	25.7±0.8	24.1±0.8
ERCO <sub>2</sub>	37.4±1.1	25.5±0.4	25.1±0.8
PETO <sub>2</sub> (mmHg)	111.2±1.2	99.1±1.5	96.6±1.5
PETCO <sub>2</sub> (mmHg)	33.9±0.8	48.8±1.0	49.2±1.0

## 2.2.6. Parámetros durante el esfuerzo en la prueba submáxima

**Tabla 10.** Valores de reposo para el grupo de lesionados medulares en la prueba submáxima.

	0 m	LM 3000 m	3000 m + frío
FREQ. RESP (resp/min)	36.3±3.8	43.0±6.7	35.4±4.1
VEBTPS (L/min)	36.8±3.3	43.1±3.9	39.4±3.1
VT (L/min)	0.994±0.099	1.031±0.094	1.014±0.068
VO <sub>2</sub> /kg (mL/kg/min)	17.1±1.6	26.2±1.8	23.9±1.4
VO <sub>2</sub> (L/min)	1.168±0.126	1.811±0.162	1.674±0.121
QR	0.852±0.033	0.950±0.021	0.944±0.015
VCO <sub>2</sub> (L/min)	0.975±0.093	1.691±0.125	1.559±0.092
FeO <sub>2</sub> (%)	17.1±0.2	15.7±0.2	15.7±0.2
FeCO <sub>2</sub> (%)	3.2±0.2	4.9±0.2	4.9±0.2
TRUEO <sub>2</sub> (%)	3.8±0.2	5.2±0.2	5.2±0.2
ERO <sub>2</sub>	32.5±1.7	24.0±1.1	23.7±1.1
ERCO <sub>2</sub>	38.4±1.9	25.3±1.1	25.1±1.0
PETO <sub>2</sub> (mmHg)	111.4±1.7	100.3±2.1	98.6±1.9
PETCO <sub>2</sub> (mmHg)	31.9±1.3	45.7±2.2	47.1±1.8

**Tabla 11.** Valores de reposo para el grupo de NO lesionados medulares en la prueba submáxima.

	0 m	NO LM 3000 m	3000 m + frío
FREQ. RESP (resp/min)	27.7±1.8	32.0±3.1	30.4±2.5
VEBTPS (L/min)	33.9±1.7	38.5±2.1	38.1±2.3
VT (L/min)	1.138±0.064	1.205±0.142	1.142±0.100
VO <sub>2</sub> /kg (mL/kg/min)	15.0±1.2	21.9±1.4	22.6±2.0
VO <sub>2</sub> (L/min)	1.107±0.067	1.623±0.087	1.687±0.135
QR	0.895±0.012	0.952±0.027	0.939±0.010
VCO <sub>2</sub> (L/min)	0.984±0.055	1.531±0.071	1.577±0.119
FeO <sub>2</sub> (%)	17.0±0.1	15.7±0.2	15.6±0.1
FeCO <sub>2</sub> (%)	3.6±0.1	4.9±0.1	5.0±0.1
TRUEO <sub>2</sub> (%)	3.9±0.1	5.2±0.2	5.4±0.1
ERO <sub>2</sub>	34.3±3.4	24.0±1.1	23.1±0.7
ERCO <sub>2</sub>	38.7±4.2	25.2±0.5	24.6±0.6
PETO <sub>2</sub> (mmHg)	107.9±0.8	97.7±1.3	95.9±0.7
PETCO <sub>2</sub> (mmHg)	35.7±0.9	47.5±0.9	48.9±0.6

## 3. RESPUESTA VASCULAR

Los parámetros de la evaluación de la respuesta vascular se evaluaron mediante sistema no invasivo (modelo NE-XFIN, BEMEYE, Netherland) de monitorización de la presión arterial.

Este sistema ha supuesto la aplicación novedosa de una tecnología existente y que era utilizada en otros ámbitos. Las características de la misma hicieron imposible aplicarlo en la prueba máxima (Tabla 12).

**Tabla 12.** Resultados de la respuesta cardiovascular durante el reposo previo a la prueba de esfuerzo submáxima, en los dos grupos LM y no LM.

	LESIONADOS			NO LESIONADOS		
	0 m	3000 m	3000m + frío	0 m	3000 m	3000m + frío
Sis. (mmHg)	112.0±7.0	112.0±6.4	120.5±8.0	118.6±2.8	114.0±5.6	124.4±17.8
Dia. (mmHg)	72.5±4.4	77.4±3.3	82.0±4.0	74.4±1.1	72.9±3.5	76.4±4.6
TAM (mmHg)	87.0±5.0	90.6±4.4	95.7±3.9	91.3±1.3	88.8±4.2	92.2±7.7
VS (ml)	86.8±4.2	70.6±5.4	71.5±6.2	91.7±3.3	86.5±5.2	71.0±9.4
RVP (dyn/cm <sup>5</sup> )	702.0±24.3	1083.0±151.0	1023.0±112.6	853.0±28.9	869.0±46.4	1220.0±76.4
dP/dt (mmHg/s)	720.0±81.2	600.0±73.9	949.8±323.7	794.3±62.3	764.0±70.8	806.4±258.0
IBI (s)	0.533±0.037	0.543±0.021	0.516±0.020	0.639±0.027	0.631±0.039	0.633±0.044
GC (l/min)	10.1±0.7	8.0±0.7	8.5±1.0	8.7±0.3	8.5±0.6	6.8±0.8
IC (l/min/m <sup>2</sup> )	5.4±0.4	4.4±0.4	4.6±0.7	4.6±0.2	4.5±0.3	3.4±0.3
IS (ml/m <sup>2</sup> )	45.5±1.5	38.4±2.9	38.0±4.2	48.3±1.6	45.2±2.1	35.4±3.5
RVPAC (dyn·s·m <sup>2</sup> /cm <sup>5</sup> )	1340.0±73.2	1991.0±281.0	2009.0±250.2	1632.6±91.3	1643.0±84.0	2322.2±58.0.2
PP (mmHg)	39.0±3.0	34.1±3.5	38.0±8.1	43.8±2.5	41.2±3.35	47.6±14.0.6

**Tabla 13.** Resultados de la respuesta cardiovascular durante la prueba de esfuerzo submáxima, en los dos grupos: LM y no LM.

	LESIONADOS			NO LESIONADOS		
	0 m	3000 m	3000m + frío	0 m	3000 m	3000m + frío
Sis. (mmHg)	128.8±5.6	127.0±8.8	134.7±8.1	144.0±3.3	144.8±7.7	151.4±16.7
Dia. (mmHg)	81.0±3.7	81.4±4.3	94.0±6.6	86.3±1.9	88.9±4.1	93.6±3.6
TAM (mmHg)	99.5±4.4	98.6±5.8	107.8±6.5	108.8±2.1	110.3±5.5	113.4±5.3
VS (ml)	96.2±3.0	81.6±6.9	68.5±4.8	96.6±4.1	89.3±4.8	73.4±13.8
RVP (dyn/cm <sup>5</sup> )	631.7±36.9	965.9±146.1	1066.0±117.9	874.3±34.7	893.9±47.9	2360.8±726.2
dP/dt (mmHg/s)	1009.7±77.2	997.0±136.8	1003.0±223.1	1256.7±77.4	1285.5±142.0	1098.4±322.7
IBI (s)	0.459±0.038	0.496±0.037	0.474±0.021	0.575±0.024	0.538±0.030	0.580±0.023
GC (l/min)	13.2±0.8	10.4±1.1	8.9±0.7	10.1±0.4	10.2±0.6	7.7±1.4
IC (l/min/m <sup>2</sup> )	7.0±0.5	5.6±0.6	4.8±0.5	5.4±0.3	5.4±0.3	3.6±0.5
IS (ml/m <sup>2</sup> )	50.3±1.2	44.1±3.6	36.3±3.3	50.7±1.7	46.8±1.9	34.6±5.2
RVPAC(dyn·s·m <sup>2</sup> /cm <sup>5</sup> )	1212.5±98.0	1757.7±259.4	2082.8±258.7	1670.2±95.4	1698.8±103.6	2083.6±1067.9
PP (mmHg)	47.5±2.3	45.4±5.1	40.7±5.5	57.1±2.8	55.4±4.8	57.6±16.5

Se observaron datos interesantes que ofrece la no existencia de grandes cambios en el gasto cardíaco que unidos a los aumentos observados en la ventilación hace pensar en una capacidad adaptativa con una cierta independencia entre la parte vascular y la ventilatoria, dependiente de la necesidad periférica aumentada por la realización de la actividad física.

Al mismo tiempo, se observa un aumento de las resistencias periféricas en los no lesionados medulares que no se aprecia con la misma intensidad en el grupo de lesionados medulares. Esta diferencia puede ser determinante a la hora de modificar las adaptaciones a los ambiente fríos y en altura.

El análisis pormenorizado de esta parte de los datos pueden ofrecer informaciones novedosas y pioneras para tratar de describir las diferencias entre los lesionados medulares y los no lesionados, en las respuestas funcionales ante estímulos como los propuestos en este estudio.

## 4. CINÉTICA DE OXÍGENO, CO<sub>2</sub> Y VENTILACIÓN

Desde hace tiempo se considera el estudio de la cinética del oxígeno como un parámetro que explicaría las diferencias periféricas de la utilización del oxígeno y la velocidad de la respuesta.

La aproximación clásica determina el estudio del oxígeno de manera exclusiva y lo hace con una sola variable: el tiempo. De acuerdo con los técnicos de Brainware Systems, se ha evolucionado un sistema nuevo de análisis que permite la información de los 3 primeros componentes de la curva. Al mismo tiempo, hemos podido hacer este análisis para el oxígeno, la producción de CO<sub>2</sub> y la ventilación. Esta aportación permite realizar un análisis pormenorizado de la respuesta a una determinada carga y su relación con la carga realizada.

### 4.1. Parámetros para el Oxígeno

**Tabla 14.** Cinética para el oxígeno. Resultados de la respuesta ventilatoria durante la prueba de esfuerzo submáxima, en los dos grupos LM y no LM.

	LESIONADOS			NO LESIONADOS		
	0 m	3000 m	3000m + frío	0 m	3000 m	3000m + frío
RestVO <sub>2</sub>	0.415±0.039	0.691±0.058	0.667±0.045	0.475±0.032	0.778±0.038	0.897±0.092
AmplitudVO <sub>2</sub>	1.128±0.128	1.799±0.164	1.675±0.118	1.099±0.070	1.623±0.088	1.709±0.131
Simple Time	120.2±30.6	89.7±15.7	120.7±25.5	143.8±29.7	154.4±32.4	159.6±25.0
T1VO <sub>2</sub>	32.0±1.7	35.6±1.4	31.2±1.5	53.5±18.5	33.9±2.7	77.4±38.7
T2VO <sub>2</sub>	21.4±0.3	22.2±0.3	21.9±0.2	21.1±1.0	21.6±0.2	26.3±3.7
T3VO <sub>2</sub>	11.7±0.4	12.2±0.2	12.2±0.1	12.1±0.2	12.0±0.2	13.8±1.4
Time Delay	-13.4±3.3	-14.1±2.3	-13.5±1.8	-12.9±4.5	-14.1±1.9	-12.8±3.8
Q-VO <sub>2</sub>	2.113±0.820	0.545±0.102	1.089±0.305	1.190±0.499	1.558±0.452	2.051±0.264

## 4.2. Parámetros para la producción de CO<sub>2</sub>

**Tabla 15.** Cinética para la producción de CO<sub>2</sub>. Resultados de la respuesta ventilatoria durante la prueba de esfuerzo submáxima, en los dos grupos: LM y no LM.

	LESIONADOS			NO LESIONADOS		
	0 m	3000 m	3000m + frío	0 m	3000 m	3000m + frío
RestVCO <sub>2</sub>	0.319±0.022	0.609±0.055	0.621±0.037	0.467±0.035	0.795±0.045	0.901±0.129
AmplitudVCO <sub>2</sub>	0.941±0.090	1.683±0.129	2.843±1.046	0.979±0.057	1.531±0.072	1.599±0.113
Simple Time	149.1±33.9	118.3±21.0	113.8±23.2	174.2±33.9	124.2±23.0	176.8±30.5
T1VCO <sub>2</sub>	40.6±3.1	43.5±2.4	36.1±3.3	42.2±5.7	36.3±2.8	46.7±6.5
T2VCO <sub>2</sub>	21.8±0.3	22.2±0.4	22.1±0.3	22.2±0.7	21.8±0.3	21.8±0.3
T3VCO <sub>2</sub>	11.9±0.2	12.1±0.2	12.1±0.1	12.1±0.3	11.9±0.2	12.1±0.2
Time Delay	-6.6±3.6	-9.8±3.3	-8.7±2.5	-9.5±4.3	-7.4±3.5	-27.8±16.8
Q-VCO <sub>2</sub>	1.449±0.640	0.482±0.062	0.771±0.182	1.045±0.5515	1.387±0.4163	1.701±0.236

## 4.3. Parámetros para la producción de VE

**Tabla 16.** Cinética para la VE. Resultados de la respuesta ventilatoria durante la prueba de esfuerzo submáxima, en los dos grupos: LM y no LM.

	LESIONADOS			NO LESIONADOS		
	0 m	3000 m	3000m + frío	0 m	3000 m	3000m + frío
RestVE	13.4±1.0	15.2±1.2	16.7±0.8	17.3±1.4	19.9±1.2	21.6±2.4
AmplitudVE	36.0±3.4	43.0±4.0	39.5±3.1	33.7±1.7	38.6±2.1	38.4±2.2
Simple Time	130.5±31.9	90.2±11.5	133.7±26.5	182.8±31.4	172.1±35.2	179.7±38.7
T1VE	38.2±3.1	40.8±2.2	37.1±3.9	39.1±5.4	33.0±1.3	35.8±4.0
T2VE	21.8±0.4	22.4±0.3	22.3±0.4	21.9±0.6	21.9±0.3	22.0±0.3
T3VE	12.0±0.2	12.2±0.2	12.2±0.2	12.0±0.3	12.0±0.2	12.2±0.2
Time Delay	-12.9±4.6	-15.6±3.3	-11.2±2.6	-15.1±4.7	-17.4±3.8	-19.8±3.5
Q-VE	447.0±98.8	260.4±47.4	375.4±101.0	365.3±82.5	667.1±234.1	613.6±91.4

## 5. ECOGRAFÍA DE LOS FLUJOS Y LOS DIÁMETROS EN LA PRUEBA SUBMÁXIMA

**Tabla 17.** Valores ecográficos. Resultados de la medición de los flujos y los diámetros durante la prueba de esfuerzo submáxima, en los dos grupos: LM y no LM.

				LESIONADOS	NO LESIONADOS
A. Braquial derecha	0 m	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	128.97±29.05	132.98±13.79
			φ (cm)	0.58±0.02	0.60±0.03
	3000 m		Flujo (ml/min)	80.62±11.53	77.45±25.09
			φ (cm)	0.54±0.02	0.56±0.02
	3000 + frío		Flujo (ml/min)	89.81±14.22	91.06±13.13
			φ (cm)	0.59±0.02	0.59±0.03
A. Radial derecha	0 m	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	21.24±5.92	24.03±3.62
			φ (cm)	0.28±0.02	0.30±0.02
	3000 m		Flujo (ml/min)	19.60±2.57	22.39±4.82
			φ (cm)	0.29±0.01	0.29±0.02
	3000 + frío		Flujo (ml/min)	5.67±1.33	5.33±0.83
			φ (cm)	0.25±0.02	0.24±0.02
A. Braquial izquierda	0 m	Reposo	Flujo (ml/min)	31.39±6.34	32.66±3.88
		φ (cm)	0.49±0.02	0.49±0.03	
	3000 m	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	69.56±15.45	65.08±8.51
		φ (cm)	0.57±0.03	0.57±0.02	
	3000 + frío	Reposo	Flujo (ml/min)	28.63±5.36	24.83±7.41
		φ (cm)	0.50±0.03	0.50±0.02	
	0 m	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	68.15±12.95	73.13±7.86
		φ (cm)	0.54±0.03	0.55±0.02	
	3000 m	Reposo	Flujo (ml/min)	25.09±4.17	27.08±3.00
		φ (cm)	1.70±0.04	1.96±0.02	
	3000 + frío	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	43.01±16.14	46.68±4.68
		φ (cm)	0.56±0.02	0.55±0.03	
A. Radial izquierda	0 m	Reposo	Flujo (ml/min)	8.32±2.87	9.06±1.64
			φ (cm)	0.26±0.02	0.27±0.01
	3000 m	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	16.93±2.73	16.87±6.28
			φ (cm)	0.26±0.02	0.26±0.02
	3000 + frío	Reposo	Flujo (ml/min)	5.94±1.78	4.49±1.06
			φ (cm)	0.26±0.01	0.27±0.02
	0 m	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	14.83±3.23	19.97±6.94
			φ (cm)	0.29±0.01	0.30±0.02
	3000 m	Reposo	Flujo (ml/min)	2.98±0.71	3.10±0.61
			φ (cm)	0.27±0.02	0.27±0.02
	3000 + frío	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	5.59±2.57	6.06±0.20
			φ (cm)	0.25±0.02	0.24±0.02
A. Tibial Posterior	0 m	Esfuerzo	Flujo (ml/min)	7.04±3.08	6.05±0.64
			φ (cm)	0.26±0.03	0.26±0.01
	3000 m		Flujo (ml/min)	7.19±2.35	5.52±0.65
			φ (cm)	0.25±0.01	0.24±0.02
	3000 + frío		Flujo (ml/min)	4.76±2.40	2.59±0.12
			φ (cm)	0.20±0.02	0.19±0.02

## 6. TEST DE ISQUEMIA

Aunque no estaba en el plan de trabajo inicial, dados los primeros resultados, se realizó un análisis de la respuesta a la isquemia en las diferentes condiciones. Para ello, se realizaba una isquemia durante 4 minutos de la zona que se iba a medir. Tras los cuatro minutos y de manera inmediata, siempre dentro de los siguientes 60 segundos, se realizaba la medida de los flujos y los diámetros.

Los resultados son los presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 18.** Valores ecográficos. Resultados de la medición de los flujos y los diámetros durante la prueba de isquemia.

			LM	NO LM
0 m.	A. Radial	Flujo (ml/min)	19.24±5.86	18.93±2.10
		φ (cm)	0.26±0.02	0.26±0.01
	A. Tibial post.	Flujo (ml/min)	7.88±2.28	6.70±0.51
		φ (cm)	0.25±0.01	0.25±0.01
3000 m.	A. Radial	Flujo (ml/min)	12.50±3.48	9.93±3.07
		φ (cm)	0.29±0.01	0.29±0.02
	A. Tibial post.	Flujo (ml/min)	6.55±2.34	3.78±0.40
		φ (cm)	0.26±0.02	0.25±0.01
3000 m. + frío	A. Radial	Flujo (ml/min)	2.97±0.62	3.02±0.66
		φ (cm)	0.25±0.01	0.25±0.01
	A. Tibial post.	Flujo (ml/min)	7.46±2.43	5.87±0.25
		φ (cm)	0.26±0.02	0.25±0.02

## 7. CONCLUSIONES

En la presente memoria final se ha intentado ofrecer una visión general y completa del trabajo realizado. Ha sido un proyecto que ha conllevado una complejidad metodológica importante pero que ha permitido obtener algunos elementos valiosos y de aplicación. Los describimos de manera específica:

### 7.1. Metodológicas

- Se ha desarrollado una cámara hipóxica hipobárica que permite controlar la temperatura en su interior. Esta herramienta en si misma podría ser un fruto excelente de la presente ayuda. Permite y permitirá aumentar las perspectivas investigadoras y de proyectos del grupo que ha realizado el presente ensayo. La necesidad de ponerla a punto para el presente estudio ha sido el principal estímulo, aunque económicamente sólo haya podido suponer una aportación parcial al desarrollo de la misma.
- Se ha puesto en marcha la posibilidad de un análisis específico de la señal ventilatoria que permite diferenciar la adaptación para el oxígeno, el CO<sub>2</sub> y

la ventilación. Esta herramienta se ha comenzado a utilizar en algún ensayo.

- Se pusieron a punto los métodos para obtener medidas de diámetros y flujos en los lugares de la evaluación.
- Dada la complejidad metodológica que supuso, el desarrollo del presente protocolo ha logrado estrechar la colaboración entre los diferentes grupos participantes y podrá ser un núcleo de futuros trabajos conjuntos.

### 7.2. Académicas

- Ha permitido el inicio y desarrollo de una tesina del master oficial de la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona, Master en Competencias Médicas Avanzadas que esta en fase de redacción.
- Se ha integrado, gracias al presente estudio, un doctorando que esta en fase de inicio de la redacción de su documento de tesis.

### 7.3. Específicas

Respecto a los resultados de manera específica se han obtenido una importante batería de resultados que requieren una explotación pormenorizada de los mismos y que el equipo pretende hacer de manera rápida. La presente memoria trata de ofrecer información del volumen del trabajo realizado y de las posibilidades de transferencia científica que existen en esos datos.

Se pueden adelantar algunos resultados generales:

- Se aprecian cambios importantes en los consumos de oxígenos y producción de CO<sub>2</sub> sin cambios significativos en la ventilación, el volumen corriente.
- No aparecen cambios en los parámetros de función cardíaca, sobre todo en el gasto cardíaco, según el medio en el que se haya realizado la evaluación funcional.
- Aparecen diferencias entre el grupo de lesionados y no lesionados medulares, sobre todo en lo que hace referencia a la carga máxima alcanzada y a como se afecta con la altura simulada en el interior de la cámara hipóxica hipobárica.
- Se aprecia una respuesta diferente respecto a las resistencias periféricas. Así, parece apreciarse un aumento de las resistencias en el ambiente frío en el grupo de no lesionados medulares mientras que esta respuesta sería menos manifiesta en los lesionados medulares.

### 7.4. Transferencia de resultados

Esta fase del protocolo está completándose. Como se ha comentado más arriba, ha permitido ir realizando y completando actividades de tercer ciclo, tanto en un master oficial como en un programa de doctorado.

Además, una parte del presente estudio se acompaña en el artículo para la revista de FUNDACIÓN MAPFRE.

Como se comentó en la memoria parcial anterior, se hizo una presentación parcial de algunos resultados previos en las IV Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte, realizadas en Reus, entre el 18 y 19 de noviembre, se presentó una pequeña parte de resultados preliminares que afectaban exclusivamente al comportamiento a la al-

tura de 0 metros y las diferencias detectadas entre el grupo de LM y no LM vistos hasta entonces. Dichas comunicaciones orales fueron publicadas en: Archivos del Deporte, vol. XXVIII, nº 145, pag. 363, 2011.

DIFERENCIAS EN LA RESPUESTA CIRCULATORIA PERIFÉRICA EN UN GRUPO DE DEPORTISTAS CON LESIÓN MEDULAR.

---

#### **Conflicto de intereses**

Los autores hemos recibido ayuda económica de FUNDACIÓN MAPFRE para la realización de este proyecto. No hemos firmado ningún acuerdo por el que vayamos a recibir beneficios u honorarios por parte de alguna entidad comercial o de FUNDACIÓN MAPFRE.