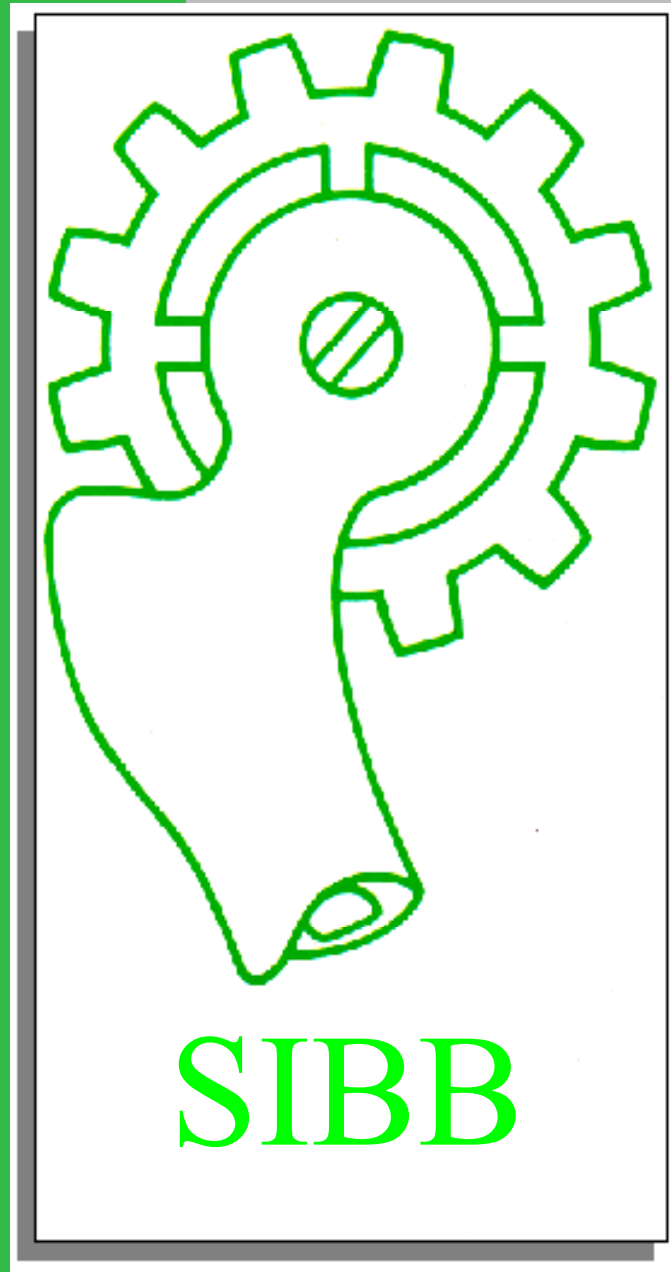


# BIOMECÁNICA



Órgano oficial de la Sociedad Ibérica  
de Biomecánica y Biomateriales

Volumen 25

2017

ISSN-e:1885-9518

## BIOMECÁNICA

Órgano Oficial de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales

**Página web SIBB:** <http://www.e-sibb.org>

**Página web *Biomecánica*:** <http://revistes.upc.edu/ojs/index.php/SIBB/>

### **Edita:**

Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales.

Depto. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica (Universitat Politècnica de Catalunya).

### **Redacción:**

Daniel Rodríguez Rius

Dept. de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE)

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Av. Eduard Maristany, 10-14, Edifici I

08930 - Sant Adrià del Besòs (Barcelona)

Correo electrónico: [daniel.rodriguez.rius@upc.edu](mailto:daniel.rodriguez.rius@upc.edu)

### **Especialidad:**

Especialistas en traumatología, medicina deportiva, rehabilitación, ingeniería biomecánica y biomateriales.

**Periodicidad:** 1 número al año

**Depósito legal:** B: 9920-2006

**ISSN-e:** 1885-9518

**ISSN:** 1135-2205

# BIOMECÁNICA

---

## CONSEJO DE DIRECCIÓN

### DIRECTOR

D. Rodríguez Rius

### SECRETARIO DE REDACCIÓN

P. Puig Mir

## COMITÉ CIENTÍFICO

### ÁREA DE CIRUGÍA ORTOPÉDICA Y TRAUMATOLOGÍA

**Coordinador:** J. Valentí Ardanuy  
M. Fernández Fairén  
J. Usabiaga Zarranz  
A. Carranza Bencano  
L. Gómez Pellico

### ÁREA DE BIOMECÁNICA DEPORTIVA

**Coordinador:** M. Gutierrez Dávila  
A. García Fojeda  
K. Gianikellis  
R. Arellano Colomina  
P. Vera Luna

### ÁREA DE BIOMATERIALES

**Coordinador:** F.J. Gil Mur  
E. Jorge Herrero  
J. San Román del Barrio  
J.J. Vázquez Solsona  
F.J. Monteiro  
M. Barbosa

## JUNTA DIRECTIVA DE LA SIB

### Presidente:

Daniel Rodríguez Rius

### Presidente electo:

Enrique Navarro

### Tesorero:

Esteban Colell

### Secretario:

Luis M. Rodríguez-Lorenzo

### Presidente saliente:

† José Antonio de Pedro Moro

### Director de la Revista:

Daniel Rodríguez Rius

### Coordinadora Página Web:

Maria Pau Ginebra Molins

### Vocales:

Pilar Bel Rafecas      F. Javier Gil Mur  
M<sup>a</sup> Dolores Cabañas Armesilla      Julio San Román del Barrio  
José Campos Granell      Adoración Villarroya Aparicio

### Antiguos Presidentes:

Claudio Hernández Ros (1977-79)      Juan José Vázquez Solsona (1993-95)      Julio San Román del Barrio (2005-2008)  
Justo Nieto Nieto (1980-82)      Francisco Biosca Estela (1995-97)      José Campos Granell (2008-2009)  
Antonio Viladot Pericé (†) (1983-85)      M. Fernández-Fairén (1997-1999)      Antonio Viladot Voegli (2009-2011)  
Luís García Font (†) (1986)      F. J. Gil Mur (1999-2001)      J.C. Rodríguez Cabello (2011-2013)  
José Antonio Planell Estany (1987-90)      M. Gutierrez Dávila (2001-2003)      F. Javier Rojas Ruiz (2013-2015)  
Luís Fernando Llanos Alcázar (1991-93)      J. Valentí Ardanuy (2003-2005)      José Antonio de Pedro Moro (†) (2015-2016)

### Antiguos Directores

Luis Fernando Llanos      Maria Pau Ginebra Molins      Josep Antón Planell  
Francisco Forriol      José Carlos Rodríguez Cabello      C. Aparicio Bádenas

# Normas editoriales

## 1. Información general

*Biomecánica* publica trabajos originales, estudios de investigación, temas de actualización y colaboraciones especiales del ámbito de la traumatología, medicina deportiva, rehabilitación, ingeniería biomecánica y biomateriales:

**Correo electrónico:** daniel.rodriguez.rius@upc.edu

### Correo postal:

Daniel Rodríguez Rius  
Dept. de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)  
Av. Eduard Maristany, 10-14, Edifici I  
08930 - Sant Adrià del Besòs (Barcelona)

Los manuscritos deben ser originales y no estar pendientes a publicarse en otras revistas. *Biomecánica* no se hace responsable de la opinión o criterio de los autores. Se reserva el derecho de propiedad de los trabajos publicados, que no deben ser reproducidos sin su autorización.

## 2. Preparación de manuscritos.

**General:** Los manuscritos deben ser entregados en procesador de texto (preferentemente en Word), a doble espacio con márgenes amplios y tamaño de fuente entre los 10 y 12 puntos. Conviene evitar un uso excesivo de formatos ya que la mayoría de los ellos serán eliminados o reemplazados durante el procesamiento de su artículo. No utilice formatos automáticos de párrafo, tales como: justificación de texto, separación silábica, doble columna o enumeración de párrafos (especialmente para referencias numeradas). Sin embargo, se pueden utilizar formatos para las fuentes tales como negritas, cursivas, subíndices, superíndices, etc. Los editores se reservan el derecho de ajustar estilos con el fin de uniformar el formato. En la dirección de correspondencia debe especificarse claramente el destinatario, el número de fax y correo electrónico. También deberá anexarse la dirección postal completa de cada coautor. El estilo que se prefiere es: Apellido, Iniciales de Nombre, Departamento, Institución, Ciudad/Comunidad, Código Postal, País. Los autores deberán conservar copias de todas las versiones del manuscrito enviadas a la revista.

**Resumen:** Todos los manuscritos deben entregarse con un resumen de entre 100 y 200 palabras.

**Palabras clave:** Los autores deben proporcionar entre 4 y 6 palabras clave para propósitos de índice.

Tanto el resumen como las palabras clave deben enviarse en inglés y español o portugués.

**Texto:** Siga este orden al construir su manuscrito: Título, Autores, Afiliaciones, Resumen, Texto, Agradecimientos, Apéndice, Bibliografía, leyendas de las Figuras y después Tablas. Las Figuras y Tablas deben presentarse en hojas aparte. No importe o inserte sus Figuras o Tablas en el texto. El autor a quien debe dirigirse la correspondencia debe identificarse con un asterisco y una nota al pie de página.

**Unidades:** Para todos los datos científicos y de laboratorio presentados deberá usarse el Sistema Internacional.

**Introducción:** Deben presentarse brevemente los antecedentes y el estado presente del tema de estudio.

**Materiales y Métodos:** Deben detallarse los materiales, protocolos experimentales, técnicas usadas, métodos de evaluación, etc. Los modelos experimentales deben describirse en suficiente detalle para permitir a otros investigadores la reproducción de los resultados. Debe incluirse una completa referencia al tipo de análisis estadístico empleado.

**Resultados:** Su presentación debe ser clara y concisa. Se recomienda el empleo de tablas y figuras. Todos los resultados expuestos deben haber sido obtenidos de acuerdo a la metodología descrita en la sección de Materiales y Métodos.

**Discusión:** Los resultados obtenidos e información que los respalde deben explicarse y correlacionarse con aquellos reportados en la literatura. En este sentido, es necesaria una revisión bibliográfica adecuada. Debe de subrayarse la importancia del estudio presentado y su proyección de futuro.

**Conclusión:** Deberá ser breve, haciendo énfasis en los aspectos originales más relevantes del estudio presentado.

**Agradecimientos:** Si fuesen necesarios, aparecerán después de las Conclusiones.

**Bibliografía:** Todas las publicaciones citadas en el texto deben presentarse en una lista de referencias bibliográficas después del mismo en el manuscrito. En el texto, para referirse a la bibliografía, indíquela con un número consecutivo entre corchetes según orden de aparición (Ej. Ya que Peterson[1]), y una referencia completa debe de agregarse en la lista enumerada al final del escrito. La bibliografía debe seguir el siguiente formato:

1. Gough JE, Christian P, Scotchford CA, Rudd CD, Jones JA. Synthesis, degradation and in vitro cell responses of sodium phosphate glasses for craniofacial bone repair. *J Biomed Mater Res* 2002;59:481-489.
2. Nancollas H. In vitro studies of calcium phosphate crystallisation. In: Mann S, Webb J, Williams RJP, editors. *Biomaterialization. Chemical and biochemical perspectives*. New York: VCH, 1989. p. 157-182.
3. Brown W, Chow LC. Combinations of sparingly soluble calcium phosphates in slurries and paste as mineralizers and cements. US Patent No. 4612053, 1986.

**Tablas y figuras:** Todas las tablas y figuras deben enumerarse independientemente, con numeración arábiga.

**Tablas:** no deben duplicar los resultados presentados en algún otro lugar dentro del manuscrito (por ejemplo en figuras). Debe proporcionarse un título adecuado para cada tabla. Éste debe escribirse antes de la tabla. No debe utilizarse reglas verticales, y conviene evitar tablas excesivamente complejas.

**Figuras:** Es necesario presentar versiones electrónicas de las ilustraciones, que pueden ser enviadas en archivos .jpg o importadas a Word o PowerPoint. Las leyendas de las figuras deben proporcionarse en una página independiente, después de la bibliografía. En microfotografías debe aparecer una barra de escala.

## 3. Proceso editorial

Los manuscritos serán evaluados por revisores independientes seleccionados por el Consejo de Redacción y el Comité Científico de *Biomecánica*. En caso de que el manuscrito necesite correcciones, estas tendrán que enviarse a la revista en un periodo no mayor a dos meses después de haber sido notificadas al autor. Una vez este tiempo haya concluido, si no hay respuesta, el manuscrito se devolverá al autor y se descartará su publicación. Ningún manuscrito será aceptado hasta que no se hayan hecho las correcciones correspondientes.

## 4. Autorización de publicación

Los artículos publicados en *Biomecánica* se distribuirán también electrónicamente mediante su incorporación en un repositorio electrónico.

Estos artículos se publican a través de una licencia de uso Creative Commons que permita a los usuarios de la revista su reproducción, distribución y comunicación pública siempre y cuando no se modifique la obra original, no se haga para un uso comercial y se cite la fuente original.

La publicación de los artículos en esta revista implica la aceptación por parte de los autores de las condiciones expresadas.

En ningún caso esta aceptación implica una cesión en exclusiva de los derechos de explotación del autor sobre la obra publicada ni impide

# Instructions to authors

## 1. General information

*Biomecánica* publishes original works, research studies, research updates and special collaborations in the fields of orthopedics, sports medicine, rehabilitation, biomechanics and biomaterials engineering. Manuscripts must be sent to the following address:

**E-mail:** daniel.rodriguez.rius@upc.edu

### Post mail:

Daniel Rodríguez Rius  
Dept. de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)  
Av. Eduard Maristany, 10-14, Edifici I  
08930 - Sant Adrià del Besòs (Barcelona)

The manuscripts must be original, and should not be under consideration for publication elsewhere. *Biomecánica* does not take any responsibility on the opinions and criteria of the authors, and it reserves the right of property of the works published, which should not be reproduced without its authorization.

## 2. Manuscript preparation

**General:** Manuscripts must be word processed (preferably in Word format), double-spaced with wide margins and a font size of 12 or 10 pt. Please avoid excessive layout styling as most formatting codes will be removed or replaced during the processing of your article. In addition, do not use options such as automatic word breaking, justified layout, double columns or automatic paragraph numbering (especially for numbered references). However do use bold face, italic, subscripts, superscripts etc. The corresponding author should be identified (include a Fax number and E-mail address). Full postal addresses must be given for all co-authors. The Editors reserve the right to adjust style to certain standards of uniformity. The preferred style is: Surname, Initials, Department, Institution, City/State, Postal Code, Country. Authors should retain copies of all versions of their manuscript submitted to the journal.

**Abstract:** All manuscripts are to be supplied with an Abstract of about 100-200 words in length.

**Keywords:** Authors must provide 4-6 keywords for indexing purposes.

The abstract and the keywords must be sent in English and Spanish or Portuguese.

**Text:** Follow this order when typing manuscripts: Title, Authors, Affiliations, Abstract, Keywords, Main text, Acknowledgements, Appendix, References, Figure Captions and then Tables. Do not import the Figures or Tables into your text. The corresponding author should be identified with an asterisk and footnote.

**Units:** The SI system should be used for all scientific and laboratory data.

**Introduction:** The background and present state of the subject of study must be presented briefly.

**Material and methods:** The materials and experimental protocols must be detailed, techniques used, methods of evaluation, etc. The experimental models must be described in sufficient detail to allow other researchers to reproduce the results. A complete reference to the type of statistical analysis used must be presented.

**Results:** They must be presented in a clear and concise form. The use of tables and figures is recommended. All of the exposed results must have been obtained according to the methodology described in the Material and Methods section.

**Discussion:** The obtained results and their reliability must be explained, and correlated with those reported in the literature. In this sense, a suitable bibliographical revision is mandatory. It must also be stressed the importance of the study and its future projection.

**Conclusion:** It must be brief, underlying the more significant original aspects of the presented study.

**Acknowledgments:** If necessary, they will appear after the Conclusions.

**References:** All publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. " In the text refer to references by a consecutive number in square brackets (e.g. Since Peterson [1]), and the full reference should be given in a numerical list at the end of the paper. References should be written in the following form:

1. Gough JE, Christian P, Scotchford CA, Rudd CD, Jones JA. Synthesis, degradation and in vitro cell responses of sodium phosphate glasses for craniofacial bone repair. *J Biomed Mater Res* 2002;59:481-489.
2. Nancollas H. In vitro studies of calcium phosphate crystallisation. In: Mann S, Webb J, Williams RJP, editors. *Biomineralization. Chemical and biochemical perspectives*. New York: VCH, 1989. p. 157-182.
3. Brown W, Chow LC. Combinations of sparingly soluble calcium phosphates in slurries and paste as mineralizers and cements. US Patent No. 4612053, 1986.

**Tables and figures:** All tables and figures must be numbered with independent Arabic numeration.

**Tables:** they should not duplicate results presented elsewhere in the manuscript, (e.g. in graphs). A suitable caption for each table must be provided. Footnotes to tables should be typed below the table and should be referred to by superscript lowercase letters. No vertical rules should be used. Excessively complex tables must be avoided.

**Figures:** Authors are required to provide electronic versions of their illustrations, which can be submitted either as .jpg files, or imported to Word or Power Point files. Figure captions must be provided in a separate page after the references. In microphotographs a scale bar must be marked on the photograph.

## 3. Publishing process

The manuscripts will be evaluated by independent referees selected by the Editorial Board and the Scientific Committee of *Biomecánica*. In case the manuscript might need corrections, these will have to be sent to the journal in less than one month after first receiving notice. Once this time elapsed, if there is no response, the manuscript will be given back to the author and it will be discarded for publication. No manuscript will be accepted until the complete corrections are made.

## 4. Publishing authorization

Articles published in *Biomecánica* are also distributed electronically through incorporation into an electronic repository.

These articles are published through a Creative Commons license that allows journal users reproduction, distribution and public communication, provided that the original work is not altered, is not used for commercial purposes and the original source is acknowledged. The authors of an article accept these conditions by its publication in *Biomecánica*.

In any case this acceptance implies an exclusive transfer of the author copyright on the published article or prevents normal exploitation of the article through the usual ways.

# BIOMECÁNICA

---

ÓRGANO DE LA SOCIEDAD IBÉRICA DE BIOMECÁNICA Y BIOMATERIALES

Volumen 25

2017

---

## SUMARIO

---

### ORIGINALES

- 7     **Liquids treated by Atmospheric Pressure Plasma Jet for bone cancer therapy (Premio Congreso SIBB 2017)**  
*I. Hamouda, J. Guillem-Martí, M.P. Ginebra, C. Canal*
- 16    **Estudio piloto de la postura de pie en deportistas**  
*X. Borràs, F. Marín*
- 21    **Efectos de la fatiga sobre la actividad muscular durante sucesivos test de sentadilla (30 seg)**  
*A.F. San Juan, J. Lougedo, R. Domínguez, P. Veiga-Herreros, P. García-Fernández, M.V. Garnacho-Castaño, M.C. Lozano-Esteban, J. Guodemar-Pérez, J.L. Maté-Muñoz*
- 
- 26    **XLI Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales**

# Liquids treated by Atmospheric Pressure Plasma Jet for bone cancer therapy

*Premio Congreso SIBB 2017*

---

I. HAMOUDA <sup>1,2</sup>, J. GUILLEM-MARTI <sup>1,2</sup>, M.P. GINEBRA <sup>1,2</sup>, C. CANAL <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Biomaterials, Biomechanics and Tissue Engineering Group, Dpt. Materials Science and Metallurgy, Technical University of Catalonia (UPC), Barcelona

<sup>2</sup> Barcelona Research Center in Multiscale Science and Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

## **Abstract**

Current bone cancer treatments include and may combine surgery, chemotherapy, radiation therapy or cryosurgery among others. However, these treatments are not completely effective and unspecific where patients relapse. In recent years, researchers have found a novel approach by means of cold atmospheric plasma that can selectively treat cancer cells without damaging the surrounding tissues but its effects on bone cancer are unknown. Cold plasmas generate reactive oxygen and nitrogen species in air, which seem to be related to their effects on cells. As biological tissues and cells are covered with biological fluids during plasma treatment, studies point out an implication of the liquid media in the effects of plasmas. Within this context, in this research project the effect of an atmospheric pressure plasma jet will be investigated in two different liquid media by implementing appropriate measurement protocols for three different reactive species:  $[H_2O_2]$ ;  $[HO^\bullet]$  and  $[NO_2^-]$ . To ascertain its biological effects this atmospheric pressure plasma jet treated liquids will be put in contact with bone cancer cells (SaOs-2) and also with healthy bone cells (Hobs). Preliminary results show that the atmospheric pressure plasma jet treated liquids contain different amounts of the studied reactive species depending on the treatment conditions and the medium employed, and can selectively kill bone cancer cells while conserving the viability of healthy bone cells.

**Keywords:** Plasma, liquids, reactive species, cells, bone cancer.

## **Resumen**

En los últimos años se ha empezado a desarrollar una posible terapia contra el cáncer mediante plasmas fríos a presión atmosférica. Los efectos celulares que se han observado (toxicidad selectiva de células de cáncer frente a células sanas) indican una posible implicación de los líquidos tratados con plasma. El objetivo del presente trabajo es el de investigar los efectos del plasma a presión atmosférica en medios de cultivo celulares, en cuanto a la generación de distintas especies reactivas y sus posibles efectos en células óseas tanto sanas como cancerígenas. Se trataron dos medios de cultivo con un haz de plasma de helio a presión atmosférica y se determinaron tres especies reactivas  $[H_2O_2]$ ,  $[NO_2^-]$  y  $[HO^\bullet]$  de manera cuantitativa. Se evaluó la citotoxicidad de un medio de cultivo tratado en células óseas cancerígenas (SaOs-2) y sanas (Hobs). Los resultados muestran la generación progresiva de distintas especies reactivas en función del tiempo de tratamiento con plasma y son las principales responsables de la muerte celular de células de cáncer de forma selectiva.

**Palabras clave:** Plasma, líquido, especies reactivas, células, cáncer de hueso.

---

Correspondencia:

Cristina Canal.

E-mail: cristina.canal@upc.edu

DOI: 10.5821/sibb.25.1.5384

## Introduction

During the last years a significant attention has been paid to the biomedical applications of Atmospheric Pressure Plasmas (APP). Some researchers point out that plasma properties selectively kill cancer cells without damaging the surrounding healthy tissues [1]. In fact, new APP devices were specially developed for biomedical applications. Plasmas generated at atmospheric pressure in APP devices can be directly touched by humans or be in contact with human tissues; hence it must be as safe as possible. These devices are a big source of a number of reactive species that can react with soft materials or liquids [2]. Plasma can be defined as a fully or partially ionized gas consisting of positive and negative ions, free electrons, free radicals, UV and visible radiation. It does not usually exist on the natural environment but can be artificially generated from neutral gases [3].

Cold Atmospheric Plasma (CAP) is an improvement of the atmospheric plasma, where ion temperature is close to the room temperature that makes it attractive for biomedical applications [4]. Traditionally, CAP has been used for the surface treatment of materials and more recently for treatment of liquids, like in decontamination of water [5]. Furthermore, this technology allows treating living or heat-sensitive surfaces, which makes this type of plasma useful for treatment of biological tissues [6]. Actually, this type of plasma has been developed for biomedical applications. CAP have been evaluated in the sterilization of infected tissues, inactivation of microorganisms, wound healing, skin regeneration, blood coagulation, tooth bleaching and cancer therapy [7]. Different CAP sources can be directly applied to cancer cells. Therefore, the charged particles, electrical fields and reactive species produced by plasma can act on biological cells [8]. Alternatively, they can be used to treat liquid media, thereby generating plasma-activated medium (PAM), which is applied to the cancer cells afterwards. The plasma chemistry leads to the generation of an abundance of high secondary long living species. These species come from a first reaction between the

gas-liquid interface interaction. Many of the radicals generated during the discharge can contribute to complex reactions: formation of other short and long-lived species in the solution [9]. In fact, more reactive species are generated for the APP technique in comparison to other plasma sources [10]. Although the mechanisms involved in the biological action of plasmas, are not well understood, reactive species generated are known to be biological active [11].

Cancer therapy is one of the most promising applications of APP, as their efficacy was demonstrated *in vitro* and *in vivo* for various cancer types of soft tissues [12–15]. Many active species generated by APP that include charged particles, radical, UV radiations among others, can interact with living materials. Researchers point out the responsibility of the multitude of reactive species generated by APP that may provide significant advantages over cancer therapies. During the last decade, the anticancer capacity of APP has been illustrated in cancer cell lines of breast, skin, lung, pancreas, cervix and brain but not in bone cancer cells, except in our previous study [16]. As this is a novel field of study, scarce information is available in the literature to explain the mechanism by which the plasmas interact with cells. Some researchers [17,18] point out the role of reactive oxygen and nitrogen species (RONS) generated by APP which are supposed to be key players in this process. In fact, an excess of oxidative stress causes a disturbance of the cell oxidative balance [19]. Excessive production of oxidative stress molecules, exceeding the cellular antioxidative mechanism, can lead to cell death in both normal and aberrant cells by activating intracellular signalling pathway [20]. However, in contrast to healthy cells, tumour cells contain higher steady state RONS concentrations and bear malfunctioning antioxidant mechanisms that lead to the cell death. The increase of RONS concentration can be used as an effective and selective treatment against cancer [21].

The main aim of this work is to evaluate the potential of the APPJ treated liquids for bone cancer therapy. Therefore, to evaluate the effects of APPJ on the generation of RONS in



different liquid media is of interest and how this relates to PAM effects on bone cancer and healthy cells will be investigated.

## Materials and methods

### Cell Culture

Two different types of cells were studied and grown in their own medium before any treatment. One kind of cancer cell was employed:

Sarcoma Osteogenic human cells lines (SaOs-2, ATCC, USA), passages 10-14, were grown in Mc Coy's 5A medium (Sigma Aldrich) supplemented with 10 % of fetal bovine serum (FBS), 2 mM of L-glutamine, penicillin/ streptomycin (50 U/mL and 50 µg/mg, respectively) and 2 mM of sodium pyruvate (all from Invitrogen).

The healthy cells employed were Human osteoblast primary cells (Hobs, 406-05A, Sigma-Aldrich, USA), passages 1-2, that were grown in Growth osteoblast medium (Life Technologies).

Advanced Dulbeccos's Modified Eagle Medium (AdvDMEM, Life technologies) supplemented with 10 % of FBS, 2 mM of L-glutamine and penicillin/streptomycin (50 U/mL and 50 µg/mg, respectively) was used for the APPJ treatments.

All mediums were prepared before use and all types of cells were maintained at 37 °C in a humidified atmosphere containing 5% of CO<sub>2</sub>.

### Plasma set-up

The APPJ set-up used here was a homemade plasma [22]. The discharge electrode was a copper wire with a diameter (φ) of 1 mm inserted in a φ 1.2 mm inner quartz capillary tube covered by a polytetrafluoroethylene holder. The electrode was connected to a high voltage power (Conrad Electronics, 6 W power consumption) to generate the discharge. The gas employed was helium (He, 5.0 Linde, Spain) and the gas flow was regulated by a flow controller (Bronkhorst Mass View).

### Treatment conditions

To determine the generation of RONS, Mc Coy and AdvDMEM cell culture media were

studied. 4 ml of Mc Coy and AdvDMEM medium respectively were contained in 2 cm petri dish and APPJ was applied directly on it for different times (10; 20 and 30 min). All the samples were on triplicate and all tests were triplicate.

All the liquid samples were treated with a 5 L<sub>n</sub>/min flow with a constant working distance of 20 mm. The treatment time was scaled depending on the volume and surface of liquid to be treated, according to the following equation:

$$t_{\text{indirect treatment}} = \frac{\text{surface petridish} \cdot t_{\text{direct treatment}}}{\text{surface well}(96)}$$

For the cell culture, 1.10<sup>4</sup> cells were seeded in a 96 well-plate and incubated during 24 h with fresh medium before treatment. The APPJ treatment was on 4 ml of AdvDMEM medium during 10; 20 and 30 min. Then, only 150 µl of plasma treated medium was replaced into cells.

### Cytotoxicity

The cell viability was determined by a colorimetric method [23] using the quantification of cells by the lactate dehydrogenase activity (Detection kit, LDH purchased from Roche Applied Science). Measurement were operated at 72 h post plasma treatment. Cells were lysed by removing the culture medium and adding 100 µl of Mammalian Protein Extraction Reagent (M-PER, Thermo-Scientific). A negative and a positive control were also evaluated. The negative control corresponds to an untreated culture medium with no cells. While, the positive control refers to the corresponding cell type with untreated medium; it was employed as a reference for 100 % cell viability. The absorbance was measured at a wavelength (λ) of 492 nm with a micro-plate reader (Synergy HTX, BioTek) and the percentage cell viability was determined as follows:

$$\% \text{ cell viability} = \frac{\text{sample} - \text{negative control}}{\text{positive control} - \text{negative control}}$$

### Detection of reactive species

Nitrites: the nitrite concentration [NO<sub>2</sub><sup>-</sup>] was determined by adding 50 µl of Griess reagent [24,25] to 50 µl sample introduced in 96

well-plates. The Griess reagent was obtained by dissolving 1 % wt/v sulfanilamide (M.W: 172.20 g/mol; Sigma-Aldrich; powder form), 0.1 % wt/v N-(1-naphthyl)ethylenediamine (NEED, M.W: 172.20 g/mol; Sigma-Aldrich; powder form) and 5% wt/v phosphoric acid (85 %; M.W: 98 g/mol; Pancreac) in de-ionized water ( $H_2O_d$ ) [26]. The plates were incubated for 10 min at room temperature protected from light. The absorbance was measured at  $\lambda$  of 540 nm. The  $[NO_2^-]$  in each sample was calculated by using a calibration curve with  $NaNO_2$  (M.W: 69 g/mol; powder form, Sigma-Aldrich) solution in the studied medium.

**Peroxides:** the concentration of peroxides  $[H_2O_2]$  was evaluated by a colorimetric method resulting of the reaction of  $H_2O_2$  with titanil sulphate by measuring the absorbance at  $\lambda$  of 407 nm [27]. 100  $\mu$ l of the sample were placed in a 96 well plate and 10  $\mu$ l of  $NaN_3$  (M.W: 65 g/mol; Sigma-Aldrich; powder form) solution at 60 mM were added to neutralise potential nitrites and nitrates present in the sample that can interact with peroxides [28]. Then 50  $\mu$ L of  $TiSO_4$  reagent (M.W: 159.90 g/mol; 15% wt in  $H_2SO_4$ ) were added. The reaction is immediate and remains stable over 6 h.  $[H_2O_2]$  concentration level in each sample was determined using a calibration curve with hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ; M.W: 34.01 g/mol; 30 % wt/wt in  $H_2O$ ; Sigma-Aldrich) solution in each studied medium.

**Hydroxide radical:** to determine free hydroxyl radical concentration  $[HO^\bullet]$ , an indirect method was employed [29]. The degradation of methylene blue (MB; M.W: 373.90 g/mol; Sigma-Aldrich; powder form) was followed to evaluate the hydroxide radical concentration  $[HO^\bullet]$  generated by APPJ. MB solutions of 0.03 g/l were prepared, and after plasma treatment, the absorbance was measured at  $\lambda$  of 664 nm. The MB concentration was determined using a calibration curve with MB solution in the corresponding liquid medium evaluated.

## Results

### *Detection of reactive species*

The effects of APPJ on two different cell cul-

ture media were evaluated with regard to the generation of RONS. The generation of peroxides  $[H_2O_2]$ , nitrites  $[NO_2^-]$  and the decrease of  $[MB]$  concentration - which is related to the amount of  $[HO^\bullet]$  - were measured following APPJ treatment as a function of the treatment time. In fig.1, two liquid media usually employed for cell culture were compared depending on the APPJ treatment time. It can be observed that the concentration of  $[H_2O_2]$  and  $[NO_2^-]$  was progressively increasing, while the MB concentration was decreasing as a function of the treatment time with APPJ in both media evaluated. Differences in the response of both media studied were recorded: In AdvDMEM medium more peroxides were generated than in Mc Coy medium (fig.1.a)). Five times more peroxides were formed in each media than nitrites. It is shown in fig.1.b) that more nitrites are generated in Mc Coy medium than in AdvDMEM medium. MB shows a decreasing concentration with increasing treatment time and is similar for both cell culture media with the APPJ treatment time. Similar results were found when treating low volumes (2 ml) of liquid in a smaller surface (1  $cm^2$ ) with shorter APPJ treatment times (5; 10 and 15 min), as in greater volume of liquid (4ml) in a bigger surface, as roughly the same amount of RONS was generated (fig.1). Conversely, with much lower volumes, 150  $\mu$ l of liquid media were treated at much shorter APPJ times of 0.5; 1 and 1.5 min. In that case, even if the generation of RONS follows the same trend, the effective concentration generated by APPJ is much lower than in the case of treatment of higher volumes.

### *Cytotoxicity*

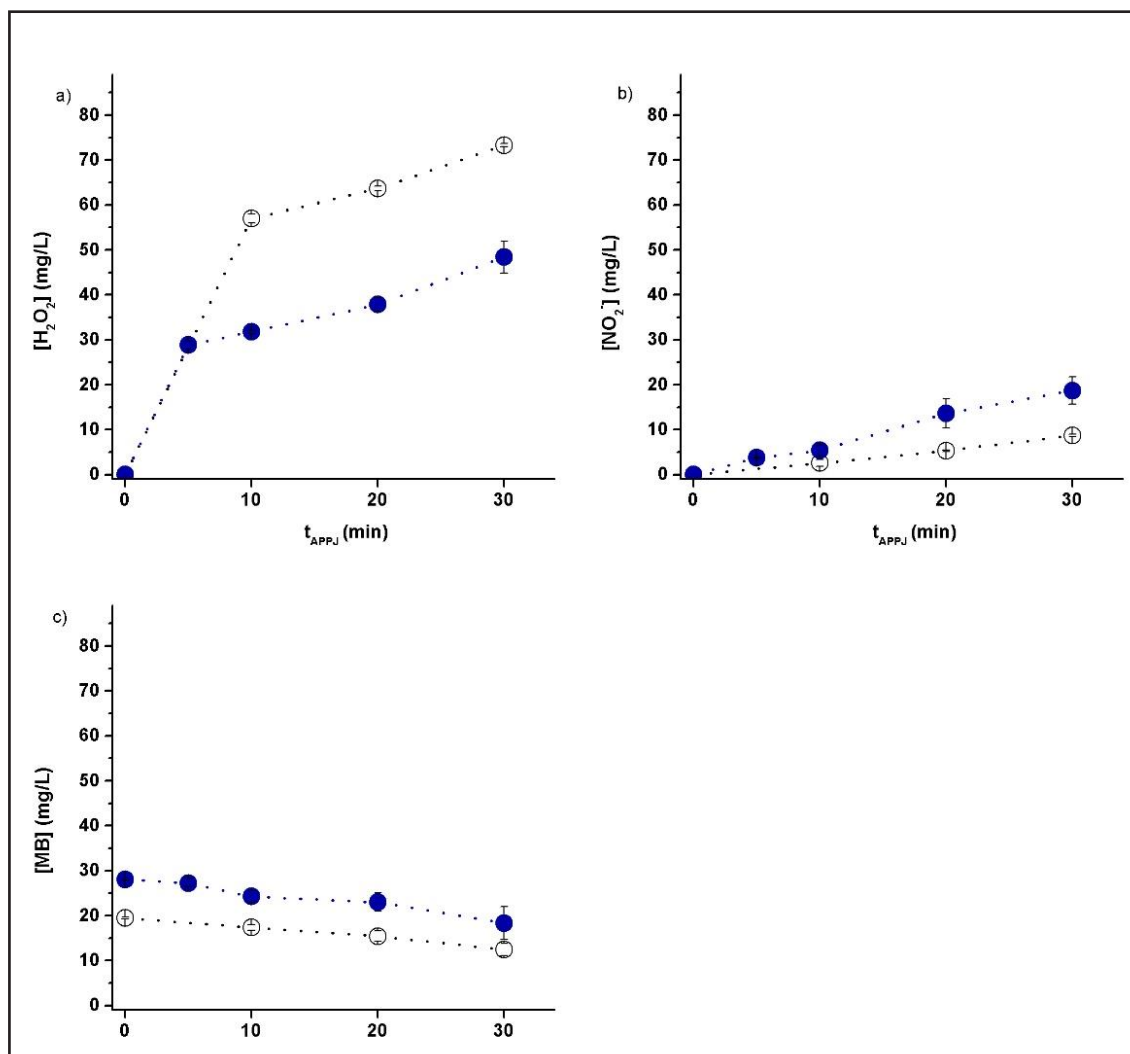
The effect of plasma treated liquid was evaluated on both cancer and healthy bone cells. To ascertain the influence of the modification produced in the liquid media by the plasma treatment, the PAM was transferred onto adherent bone cancer cells (SaOs-2), and bone healthy cell (Hobs) immediately after treatment. APPJ treatment of 4 ml of AdvDMEM media and 150  $\mu$ l of these treated media were transferred on the top of the cells and the viability was measured after 72 h. The

results are reported with respect to a positive control of the cells without plasma treated medium which are set as the 100 % viability. Fig.2 shows that the plasma treated liquid in contact with cells reduces the cell viability, the more the longer the plasma treatment time. In contrast, the plasma treated liquid doesn't affect the viability of the healthy cells (viability between 92% and 98%). It can also be observed that cells are affected by the RONS doses/treatment time; cancer cells viability decrease from 50% to 5% in treatment times ranging from 10 to 30 min.

## Discussion

The diffusion of reactive species produced by the reaction formed at the plasma-liquid

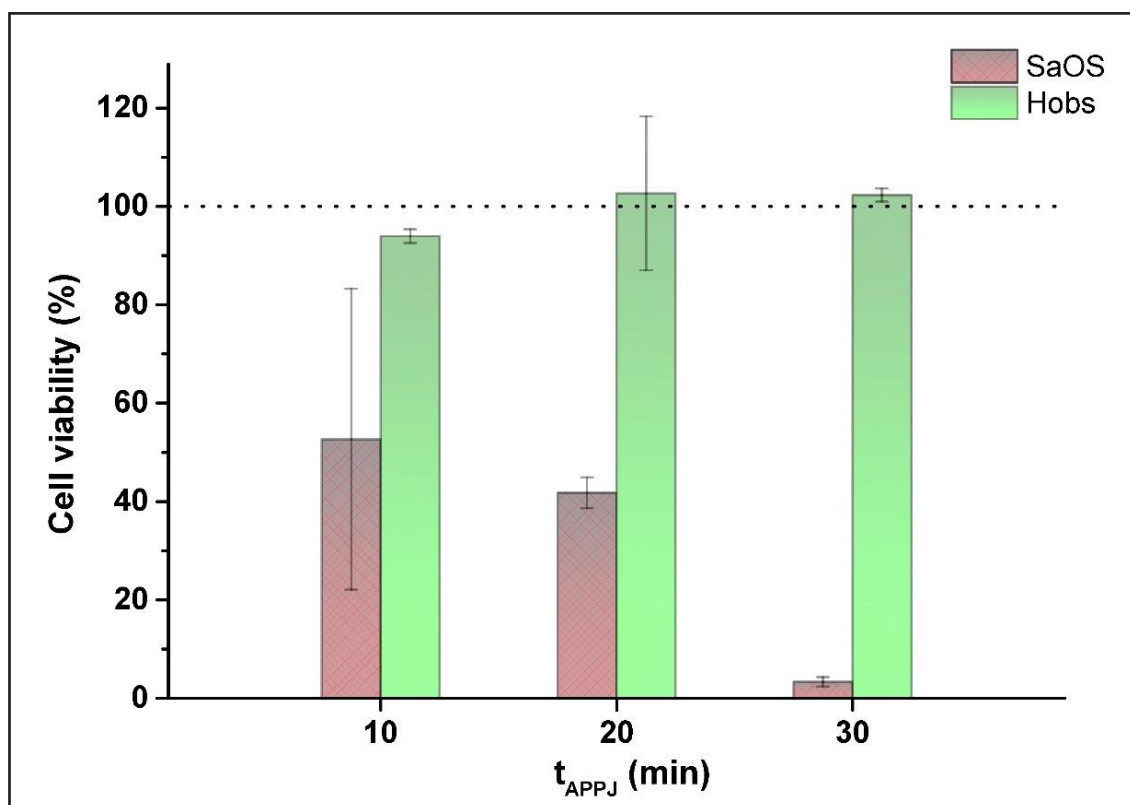
interface leads to some reactions and processes which depend on the nature of the liquid as shown in fig.3. Reactive species generated by plasma are the result of a cascade of reactions created with the interaction plasma-liquid medium [30]. The concentration increase of RONS measured ( $[H_2O_2]$  and  $[NO_2^-]$ ) was related to the plasma treatment time and the chemical composition of the medium. The  $[MB]$  decrease may be related to the generation of  $[HO^\bullet]$  in the medium by the decomposition of the MB (fig.1c) and previously reported in the literature [31]. The APPJ generates reactive species directly at the gas-liquid interface which react with the liquid composition. The reactive species amount is controlled through the gas used for the plasma discharge and also the liquid medium composition



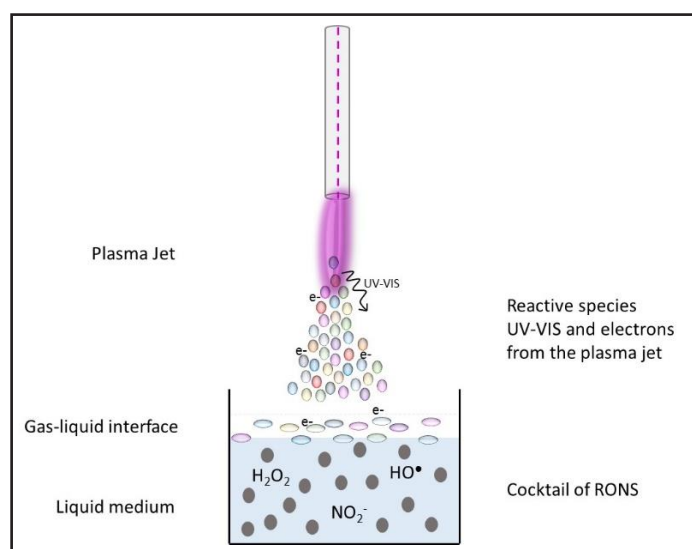
**Figure 1.** Evaluation of the generation of RONS in 4ml of Mc Coy (blue full dot) and AdvDMEM (empty dot) cell culture media following APPJ treatment: a)  $[H_2O_2]$ ; b)  $[NO_2^-]$  and c)  $[MB]$ .

plays an important role [32]. It is observed in this work a progressive formation of  $H_2O_2$  and  $NO_2^-$  in both cell culture media studied (Mc Coy and AdvDMEM) (fig.1.a) and b)) with APPJ treatment time. The creation of many other species can be expected through the

contact of liquid with APPJ, considering the complex composition of the cell culture media. In fact, in addition to the species measured here ( $H_2O_2$ ,  $NO_2^-$  and indirectly  $HO^\bullet$ ) many other RONS have been described and may be formed. In this kind of cell culture



**Figure 2.** Cell viability of bone cancer cells (SaOs-2, red dense bar) and bone healthy cell (Hobs, green bar) in contact with APPJ treated medium (4 ml of AdvDMEM medium) following 72 h of incubation in contact with this medium.



**Figure 3.** Scheme of the interaction of atmospheric plasmas with liquids, with spheres representing the different reactive species.

media, proteins and sugars, among others, present in the medium composition can be decomposed by the electrical discharge from the APPJ and also by chemical decomposition or reaction from the radicals formed during the process. Especially, positive and negative ions from the post-discharge largely combine or neutralize prior to diffusing into the liquid. Moreover, lifetimes of this neutral radicals are much longer, so that these reactive species are able to diffuse into liquids without significant losses [33].

The determination of long-living species generated by APPJ in the liquid media produced by a cascade of reactions the interface gas/liquid was useful to start understanding and identifying the processes beyond the behaviour of cells following exposure to plasma treated media.

The cytotoxicity of PAM on both cancer and healthy bone cells was investigated to ascertain potential selective effects of the APPJ treated media. The APPJ treated liquid media were effective in selectively killing bone cancer cells. Therefore, the aqueous state of the RONS in generated by plasma clearly play an important role in the anti-tumour effects as shown in other works [34]. As shown here, liquids can mediate the cytotoxicity effects of APPJ towards cancer cells, as in the biological environment, cells are covered by physiological liquids. In literature, direct treatment of cancer cells with plasmas has been shown effective, but also in some cases, treating cell culture media or liquid medium showed to be an effective anti-tumour fluid in vitro and in vivo [35]. Our results confirm the efficiency of treatment of liquids with APPJ for cancer cell death. Two effects can be highlighted; First, it can be observed that there is a significant decrease in the viability of cancer cells (50 % for the SaOs-2) for the shortest treatment time of 10 min, and down to 5% of viability for 30 min treatment of the liquid medium. This decrease in cell viability is comparable to that found in other studies focused also in bone cancer cells but following chemotherapeutical approaches [36]. Secondly, the healthy osteoblastic cells Hobs, treated in the same condition were completely viable and unaffected by the treat-

ted liquid.

This result highlights one of the advantages of this indirect treatment with APPJ treated medium, as it avoids the effects of electric fields, UV light, etc. that might potentially have harmful effects on healthy cells if uncontrolled. This treatment of liquids with plasma allows only the long living reactive species generated from APPJ or metastable species produced in reactions of the plasma with the liquid to interact with cells. It has been shown in literature that in fact, RONS generated in the liquid media can promote oxidative stress and trigger different signaling pathways in cells.

## Conclusions

Atmospheric pressure plasma jet generates different gaseous reactive species that were transmitted to the liquid phase through formation of secondary species. Protocols have been successfully implemented to determine the  $[H_2O_2]$ ,  $[NO_2^-]$  and  $[HO^\bullet]$  reactive species generated during the APPJ treatment of liquid media. This has allowed recording a time-dependent increase in the amount of these species in cell culture medium due to plasma treatment, which depend on the volume of liquid treated, as well as on the chemical composition of the cell culture medium treated. This cocktail of reactive species generated by APPJ exhibits lethal effects selectively towards bone cancer cells without harmful effects for healthy bone cells. The APPJ treated cell culture media is cytotoxic to bone cancer cells, producing a cell viability reduction between 50 and 95% depending on the RONS doses. Healthy cells remain fully viable after the same treatment. Therefore, this indirect methodology may be considered as being effective and selective, and avoiding electric fields like UV radiation of the APPJ. The lethal effects seem to be related with the RONS activity in the liquid media into the cells.

## Aknowledgments

Authors acknowledge the financial support of MAT2015-65601-R project (MINECO/

FEDER, EU) and of SGR2014 01333. This project has received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (Grant agreement No 714793). CC acknowledges MINECO for the Ramon y Cajal fellowship. JGM thanks the support of the AGAUR of the Government of Catalonia (2014-PDJR- 00014). Support for the research of MPG was received through the ICREA Academia Award for excellence in research, funded by the Generalitat de Catalunya.

## References

1. **Keidar, M. et al.** Cold atmospheric plasma in cancer therapy. *Phys. Plasmas* 20, 57101 (2013).
2. **Weltmann, K.-D. et al.** Plasma Processes and Plasma Sources in Medicine. *Contrib. to Plasma Phys.* 52, 644–654 (2012).
3. **Schutze, A. et al.** The atmospheric-pressure plasma jet: a review and comparison to other plasma sources. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 26, 1685–1694 (1998).
4. **Fridman, G. et al.** Applied Plasma Medicine. *Plasma Process. Polym.* 5, 503–533 (2008).
5. **Stoffels, E., Flikweert, A. J., Stoffels, W. W. & Kroesen, G. M. W.** Plasma needle: a non-destructive atmospheric plasma source for fine surface treatment of (bio)materials. *Plasma Sources Sci. Technol.* 11, 383–388 (2002).
6. **Laroussi, M.** Low-Temperature Plasmas for Medicine? *IEEE Trans. Plasma Sci.* 37, 714–725 (2009).
7. **Laroussi, M.** Low-Temperature Plasma Jet for Biomedical Applications: A Review. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 43, 703–712 (2015).
8. **Zhao, S. et al.** Atmospheric Pressure Room Temperature Plasma Jets Facilitate Oxidative and Nitritative Stress and Lead to Endoplasmic Reticulum Stress Dependent Apoptosis in HepG2 Cells. *PLoS One* 8, (2013).
9. **Bruggeman, P. J. et al.** Plasma–liquid interactions: a review and roadmap. *Plasma Sources Sci. Technol.* 25, 53002 (2016).
10. **Lu, X. et al.** Reactive species in non-equilibrium atmospheric-pressure plasmas: Generation, transport, and biological effects. *Phys. Rep.* 630, 1–84 (2016).
11. **Oh, J. S. et al.** How plasma induced oxidation, oxygenation, and de-oxygenation influences viability of skin cells. *Appl. Phys. Lett.* 109, (2016).
12. **Torii, K. et al.** Effectiveness of plasma treatment on gastric cancer cells. *Gastric Cancer* 18, 635–643 (2015).
13. **Utsumi, F. et al.** Selective cytotoxicity of indirect nonequilibrium atmospheric pressure plasma against ovarian clear-cell carcinoma. *Springerplus* 3, 398 (2014).
14. **Utsumi, F. et al.** Effect of Indirect Nonequilibrium Atmospheric Pressure Plasma on Anti-Proliferative Activity against Chronic Chemo-Resistant Ovarian Cancer Cells In Vitro and In Vivo. *PLoS One* 8, e81576 (2013).
15. **Tanaka, H. et al.** Plasma-Activated Medium Selectively Kills Glioblastoma Brain Tumor Cells by Down-Regulating a Survival Signaling Molecule, AKT Kinase. *Plasma Med.* 1, 265–277 (2011).
16. **Canal, C. et al.** Plasma-induced selectivity in bone cancer cells death. *Free Radic. Biol. Med.* 110, (2017).
17. **Ratovitski, E. A. et al.** Anti-Cancer Therapies of 21st Century: Novel Approach to Treat Human Cancers Using Cold Atmospheric Plasma. *Plasma Process. Polym.* 11, 1128–1137 (2014).
18. **Graves, D. B.** Reactive Species from Cold Atmospheric Plasma: Implications for Cancer Therapy. *Plasma Process. Polym.* 11, 1120–1127 (2014).
19. **Trachootham, D., Alexandre, J. & Huang, P.** Targeting cancer cells by ROS-mediated mechanisms: a radical therapeutic approach? *Nat. Rev. Drug Discov.* 8, 579–591 (2009).
20. **Bauer, G. & Graves, D. B.** Mechanisms of Selective Antitumor Action of Cold Atmospheric Plasma-Derived Reactive Oxygen and Nitrogen Species. *Plasma Process. Polym.* 13, 1157–1178 (2016).
21. **Wiseman, H. & Halliwell, B.** Damage to DNA by reactive oxygen and nitrogen species: role in inflammatory disease and progression to cancer. *Biochem. J.* 313 ( Pt 1), 17–29 (1996).
22. **Zaplotnik, R. et al.** Influence of a sample surface on single electrode atmospheric plasma jet parameters. *Spectrochim. Acta Part B At. Spectrosc.* 103–104, 124–130 (2015).
23. **Koh, J. Y. & Choi, D. W.** Quantitative determination of glutamate mediated cortical neuronal injury in cell culture by lactate dehydrogenase efflux assay. *J. Neurosci. Methods* 20, 83–90 (1987).
24. **Giustarini, D., Rossi, R., Milzani, A. & Dalle-Donne, I.** Nitrite and Nitrate Measurement by Griess Reagent in Human Plasma: Evaluation of Interferences and Standardization. *Methods Enzymol.* 440, 361–380 (2008).
25. **Guevara, I. et al.** Determination of nitrite/nitrate in human biological material by the simple Griess reaction. *Clin. Chim. Acta* 274, 177–188 (1998).
26. **Granger, D. L., Taintor, R. R., Boockvar, K. S. & Hibbs, J. B.** Measurement of nitrate and nitrite in biological samples using nitrate reductase and Griess reaction. *Methods Enzymol.* 268, 142–51 (1996).
27. **Machala, Z. et al.** Formation of ROS and RNS in Water Electro-Sprayed through Transient Spark Discharge in Air and their Bactericidal Effects. *Plasma Process. Polym.* 10, 649–659 (2013).

28. **Satterfield, C. N. & Bonnell, A. H.** Interferences in Titanium Sulfate Method for Hydrogen Peroxide. *Anal. Chem.* 27, 1174–1175 (1955).
29. **Chen, Z., Lin, L., Cheng, X., Gjika, E. & Keidar, M.** Effects of cold atmospheric plasma generated in deionized water in cell cancer therapy. *Plasma Process. Polym.* 13, 1151–1156 (2016).
30. **Lukes, P. & Locke, B. R.** Plasmachemical oxidation processes in a hybrid gas–liquid electrical discharge reactor. *J. Phys. D. Appl. Phys.* 38, 4074–4081 (2005).
31. **Chandana, L., Manoj Kumar Reddy, P. & Subrahmanyam, C.** Atmospheric pressure non-thermal plasma jet for the degradation of methylene blue in aqueous medium. *Chem. Eng. J.* 282, 116–122 (2015).
32. **Lukes, P., Dolezalova, E., Sisrova, I. & Clupek, M.** Aqueous-phase chemistry and bactericidal effects from an air discharge plasma in contact with water: evidence for the formation of peroxy-nitrite through a pseudo-second-order post-discharge reaction of  $\text{H}_2\text{O}_2$  and  $\text{HNO}_2$ . *Plasma Sources Sci. Technol.* 23, 15019 (2014).
33. **Rumbach, P., Bartels, D. M., Sankaran, R. M. & Go, D. B.** The solvation of electrons by an atmospheric-pressure plasma. *Nat. Commun.* 6, 7248 (2015).
34. **Mohades, S., Barekzi, N., Razavi, H., Maruthamuthu, V. & Laroussi, M.** Temporal evaluation of the anti-tumor efficiency of plasma-activated media. *Plasma Process. Polym.* 13, 1206–1211 (2016).
35. Anti-tumor aqueous solution, anti-cancer agent, and methods for producing said aqueous solution and said anti-cancer agent. (2013).
36. **Zou, J. et al.** Sensitization of Osteosarcoma Cell Line SaOS-2 to Chemotherapy by Downregulating Survivin. *Arch. Med. Res.* 41, 162–169 (2010).

## Estudio piloto de la postura de pie en deportistas

---

X. BORRÀS<sup>1</sup>, F. MARÍN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sport Performance Analysis Research Group (SPARG)  
UVic-UCC, Vic

### **Resumen**

*El objetivo de este estudio piloto es el de analizar la postura de pie en deportistas de diferentes modalidades. Participaron 6 estudiantes masculinos y 1 estudiante femenina, no lesionados. Se tomaron 4 fotografías de los diferentes perfiles que fueron procesadas mediante un programa de análisis postural (SAPO, Sao Paulo). Las referencias anatómicas a digitalizar fueron señalizadas mediante 27 marcadores. Los resultados muestran que, de media, los sujetos presentan desviaciones posturales leves respecto a los valores de referencia, sobretodo destaca la desviación en la alineación vertical de la cabeza (18°). La metodología permite identificar las desviaciones posturales y aplicarla a estudios con un mayor número de sujetos. Esto podría permitir identificar patrones de postura considerados factores de riesgo para padecer una lesión. Así mismo se podría conocer si se producen modificaciones de la postura en función del tipo de modalidad deportiva practicada.*

**Palabras clave:** Fotogrametría, análisis postural, deporte, postura de pie.

### **Abstract**

*The objective of this pilot study was to analyse the standing posture of physical active subjects, participating in different types of sport. Subjects were 6 male and 1 female, not injured. Photographs from the frontal (anterior and posterior) and sides (left and right) views were taken and processed by a specific postural analysis software (SAPO, Sao Paulo). 27 markers were placed on anatomical references. Results show that subjects present slight deviations from the reference values. Highlights the vertical head alienation (18°). In conclusion, it is possible to detect postural deviations through photogrammetry; this could allow the identification postural patterns considered injury risk factors. Likewise, it could be known if there are postural modifications due to the typology of sport and activity practised..*

**Keywords:** Photogrammetry, postural analysis, sport, standing posture.



## Introducción

La postura se define como la manera de colocar los diferentes segmentos corporales. La alineación ideal es aquella que permite mantener el equilibrio con el mínimo coste energético, es decir, menos esfuerzo del sistema músculo-esquelético. En la postura ideal existe simetría entre los dos lados del cuerpo para el plano frontal. Des del plano sagital, una línea vertical tiene que pasar por el centro de masa de la persona y por la base de las orejas, centro articular de hombro, cadera, rodilla y justo por delante del maléolo externo del tobillo [1].

El objetivo de la observación de la postura es adquirir información sobre defectos visibles, déficits funcionales y anormalidades en la alienación [2]. Problemas posturales generalmente generan elevadas tensiones de las estructuras de sostén del sistema musculo-esquelético. Para la recuperación de la funcionalidad y mantenimiento o mejora de la postura se utilizan entrenamientos correctores y tratamientos fisioterapéuticos

La resonancia magnética en 3D y la tomografía computarizada en 4D son considerados los estándares de oro para la valoración de la postura, pero son métodos con un elevado coste económico. Los rayos X son otro sistema de valoración de la postura, sobretodo de la columna vertebral, pero debido a las radiaciones no puede ser utilizado de manera habitual en el ser humano [3]. La valoración de la postura mediante fotografías es utilizada como substitución, ya que es simple, económico y no invasivo [4].

Varios estudios han demostrado la fiabilidad y validez del método fotográfico, pero es imprescindible colocar correctamente los marcadores [3, 5, 6, 7, 8].

El método de la valoración postural mediante fotografía se ha utilizado en niños [6, 9, 10], adolescentes [11], estudiantes universitarios [12, 13], adultos jóvenes [7, 8] y adultos [2, 5]. No obstante falta información postural en deportistas, sobre los efectos beneficiosos de la práctica de actividad física y las adaptaciones posturales a determinados deportes.

Rosário y col [13] utilizaron el método fotográfico para evaluar los efectos de diferentes

tipos de estiramientos sobre la postura (estiramientos por segmento versus terapia de cadenas musculares) y observan que el efecto sobre la postura es mayor cuando se utiliza un método global de estiramiento. Sizato y col [14] lo utilizan para evaluar el efecto de 20 sesiones de Pilates sobre la postura en mujeres jóvenes y, aunque observan mejoras en la amplitud de movimiento concluyen que 20 sesiones no son suficientes para provocar adaptaciones posturales. Munivrana y col [10] analizaron la postura de jóvenes jugadores de tenis de mesa y concluyeron que, en general, los jóvenes tienen mala postura, pero no pudieron relacionar la postura con el nivel de práctica deportiva. Macedo y col [15] evaluaron el efecto de un tratamiento para la lumbalgia en ciclistas y observaron alguna variación postural después de su aplicación.

Existe una tendencia creciente en el entrenamiento de fuerza y condición física para identificar patrones de movimiento defectuosos de los deportistas. La valoración funcional previa permite individualizar los ejercicios en función de las necesidades e incorporar los ejercicios compensatorios adecuados para la prevención de la lesión. El objetivo de este estudio piloto es el de analizar la postura de pie en deportistas.

## Materiales y métodos

Participaron en el estudio 7 estudiantes (6 hombres y 1 mujer) de diferentes modalidades deportivas, con una media de  $24.6 \pm 0.5$  años,  $72 \pm 16,8$  kg de peso y  $174 \pm 13.1$  cm de altura. Todos cumplieron con los criterios de inclusión siguientes: (1) No estar lesionado en el momento de la valoración. (2) Si han estado lesionados, tienen que estar recuperados i haber cursado la actividad deportiva un mínimo de dos meses. (3) Los sujetos no pueden estar tomando antidepresivos. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universitat de Vic.

Para la valoración de la postura se utilizó una cámara digital (Canon EOS 400) situada sobre un trípode a una distancia de 3 metros de la zona delimitada para la posición del sujeto siguiendo las instrucciones de Ferreira y

col [7]. El espacio fue calibrado mediante una plomada. Las fotografías fueron tomadas de cuerpo entero en el plano frontal (anterior y posterior) y sagital (lados derecho e izquierdo). La posición de los pies estaba debidamente señalizada. Para que la postura fuera lo más natural posible se pidió a los sujetos que cerraran los ojos durante su colocación, llevara la cabeza a la posición neutra, abriera los ojos y mantuviera la mirada fija en un punto. Este procedimiento se realizó para las cuatro posiciones evaluadas. Los puntos de referencia anatómicos fueron marcados mediante bolas de poliestireno expandido de 10mm de diámetro siguiendo el protocolo de Ferreira y col [7]. Las fotografías fueron procesadas mediante el software de análisis postural SAPO (Sao Paulo) obteniendo los siguientes parámetros mecánicos (Figura 1): Vista anterior: (1A) alineación horizontal de cabeza, (2A) alineación horizontal acromion, (3A) alineación horizontal crestas ilíacas antero-superiores (ASIS), (4A) diferencia longitud extremidades inferiores, (5A) alineación horizontal rodillas, (6A-7A) ángulo Q derecho e izquierdo. Vista posterior: (1P) Asimetría horizontal espina de

la escápula – proceso espinoso vértebra torácico 3, (2P-3P) ángulo pierna – retropié derecho e izquierdo. Vista lateral (igual para los dos lados, derecho e izquierdo): (1L) alineación horizontal de la cabeza, (2L) alineación vertical cabeza, (3L) alineación vertical del tronco, (4L) ángulo tronco – piernas, (5L) alineación vertical del cuerpo, (6L) Alineación horizontal cadera, (7L) ángulo flexión rodilla, (8L) ángulo horizontal pierna.

## Resultados

En la tabla 1 se pueden observar los resultados para el plano frontal. Las desviaciones medias respecto a la línea horizontal son de máximo 1,5°. Para las desviaciones horizontales se ha tomado el valor absoluto, pues no todos los sujetos presentan desviación hacia el mismo lado corporal. La alineación de referencia es de 0° [1]. Los valores promedios para el ángulo Q están un poco por debajo de los valores de referencia propuestos por Horton y Hall [16]. Un sujeto presenta valores negativos del ángulo, con un varo y una rotación externa de rodilla acentuados. El valor de los

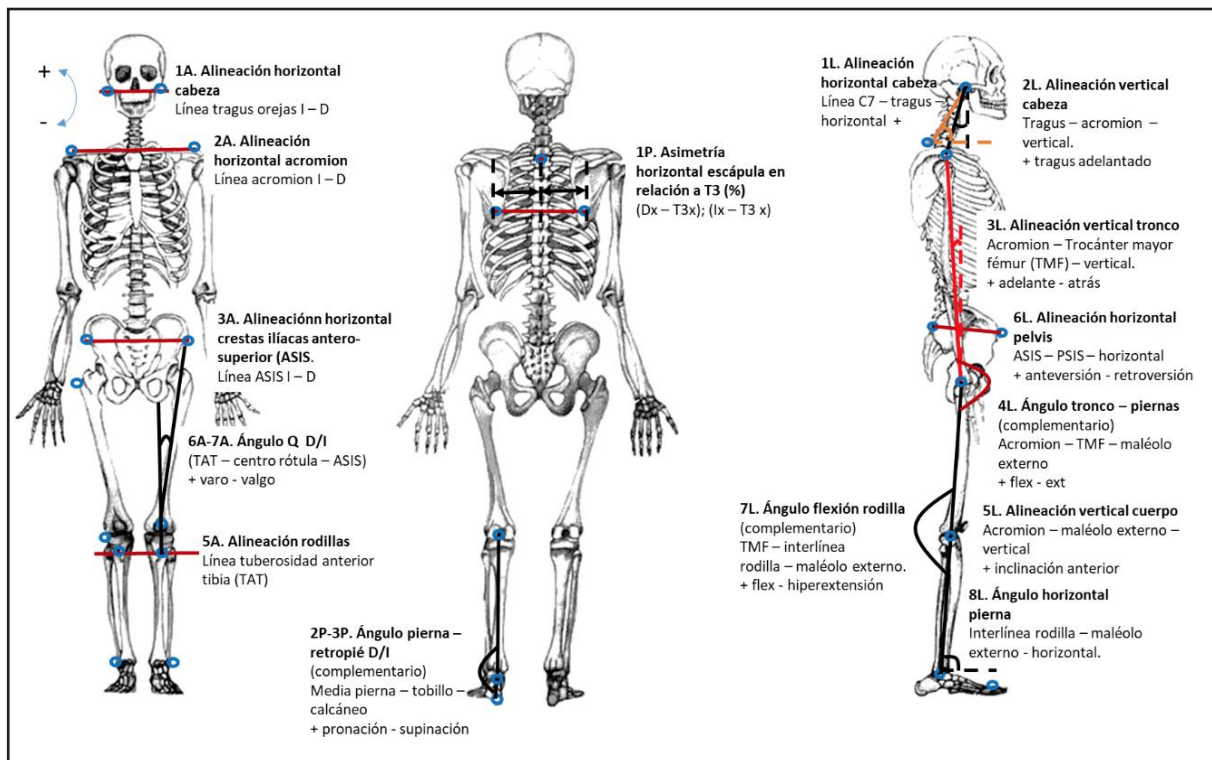


Figura 1. Parámetros, referencias anatómicas y convenciones.

ángulos Q no es simétrico para las dos extremidades, aunque la diferencia es un poco menor que la encontrada (4°) por Livingston y Mandigo [17].

Para la vista posterior, encontramos una leve asimetría entre escapulas (4,3%), siendo el valor máximo de 13,5% para uno de los sujetos. El promedio del ángulo del retropié también está dentro de los valores de referencia [18].

Para el plano sagital (Tabla 2) se ha realizado el promedio de ambos lados derecho e

izquierdo. Cabe destacar la diferencia en la alineación vertical de la cabeza que es de promedio de 18°. Según Kendall y col [1], tragus y acromion tendrían que estar alineados. La alineación horizontal de la cabeza (48,9°) es parecido a los valores encontrados en la literatura (49° - 51°) [19]. Tanto el tronco, como el total del cuerpo muestran una ligera inclinación hacia adelante, también se observa una ligera hiperextensión en la cadera que podría afectar las curvaturas lumbares. En posición de pie la rodilla presenta una ligera

Variable	Referencia	Promedio	DS	Min	Max
*Alineación H cabeza (°)	0°	1,5	0,8	0,4	2,4
*Alineación H hombros (°)	0°	0,9	1,0	0,2	2,9
*Alineación H ASIS (°)	0°	1,5	1,1	0,0	3,4
*Diferencia longitud EEII (cm)	0°	0,8	0,8	0,0	1,9
*Alineación H rodillas (°)	0°	0,9	0,7	0,0	2,3
Ángulo Q (°) D	≈8-14° H	5,6	4,1	-0,6	11,1
Ángulo Q (°) I	≈11-20° H	7,3	5,3	-1,9	13,5
*Diferencia	0°	3,8	2,1	0,7	5,9
Asimetría H escapulas -T3 (%) D	0%	4,3	4,3	0,0	13,1
Ángulo retropié (°) D	0°-5°	2,8	1,4	1,1	4,9
Ángulo retropié (°) I		4,3	3,7	0,4	10,2
*Diferencia		2,7	3,0	0,1	7,5

\*Se han tomado valores absolutos de desviación

**Tabla 1.** Promedio, desviación estándar y rango de los valores del plano frontal.

Variable	Referencia	Promedio	DS	Min	Max	Diferencia D-I
Alineación H cabeza (°)		48,8	4,0	43,3	54,8	1,7
Alineación V cabeza (°)	0°	18,1	5,8	9,1	32,1	-5,5
Alineación V tronco (°)	0°	0,6	1,9	-2,8	3,5	0,3
Ángulo cadera (°)	0°	-2,5	3,9	-9,6	3,3	-0,7
Alineación V cuerpo (°)	0°	2,5	1,3	0,3	5,1	0,8
Alineación H pelvis (°)		-10,4	7,3	-18,5	2,5	0,5
Ángulo flexión rodilla (°)	0°	1,3	3,7	-5,5	7,0	0,5
Ángulo H pierna (°)		85,6	2,2	81,6	89,6	-1,5

**Tabla 2.** Promedio, desviación estándar, rango y diferencia derecha e izquierda de los valores del plano sagital.

flexión y la cadera presenta unos valores de anteversión de 10,4° indicando hiperlordosis lumbar. Según Kritz y Cronin [20] las ventajas de hiperlordosis y anteversión pélvica resultarían en aplicar fuerzas durante más tiempo incrementando así el impulse mecánico, pero el incremento de la lordosis lumbar también está relacionado con un mayor dolor en esta zona corporal.

## Conclusiones

En el estudio piloto se pueden observar ligeras modificaciones respecto del patrón de postura considerado ideal. En un futuro se pretende desarrollar una base de datos más extensa, ampliar la información con una anamnesis de lesiones y otros test de valoración funcional. Sería interesante poder establecer alguna correlación e identificar patrones de postura considerados factores de riesgo para padecer una lesión, así como conocer si se producen modificaciones de la postura en función del tipo de modalidad deportiva practicada.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la participación de los estudiantes de CAFE de la UVic.

## Referencias

1. Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, Rodgers MM, Romani WA. *Muscles: Testing and function with posture and pain*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins. 2005.
2. Pownall PJ, Moran RW, Stewart AM. Consistency of standing and seated posture of asymptomatic male adults over a one-week interval: A digital camera analysis of multiple landmarks. *Int J Osteopath Med* 2008; 11; 43-51.
3. Rosário JLP. Photographic analysis of human posture: A literature Review, *J Bodyw Mov Ther*, 2014; 18; 56-61.
4. Fortin C, Feldman DE, Cheriet F, Labelle H. Clinical methods for quantifying posture: a literature review. *Disabil Rehabil* 2011; 33; 367-83.
5. Zonnenberg AJL, Van Maanen CJ, Elvers JWH, Oostendorp RAB. Intra/interrater reliability of measurements on body posture photographs. *Cranio* 1996; 14; 326-331.
6. McEvoy MP, Grimmer K. Reliability of upright posture measurements in primary school chil-

- dren. *BMC Musculoskelet Disord* 2005; 6; 35.
7. Ferreira EAG, Duarte M, Maldonado EP, Burke TN, Marques AP. Postural assessment software (PAS/SAPO): validation and reliability. *Clinics* 2010; 65; 75-81.
8. Dunk NM, Lalonde J, Callaghan JP. Implications for the use of postural analysis as a clinical diagnostic tool: reliability of quantifying upright standing spinal postures from photographic images. *J Manipulative Physiol Ther* 2005; 28; 386-392.
9. Pausic J, Pedisic Z, Dizdar D. Reliability of a photographic method for assessing standing posture of elementary school students. *J Manipulative Physiol Ther* 2010; 33; 425-443.
10. Munivrana G, Pausic J, Kondric M. The incidence of improper postural alignment due to the influence of long-term table tennis training. *Kinesiologia Slovenica*, 2011; 17; 47-58.
11. Puglisi F, Donati P, Marini M, Romero L, Scidone S, Ferrari R. A photographic method for multi-plane assessment of adolescent posture. *Ital J Anat Embryol* 2014; 119; 241-249.
12. Normand MC, Descarreaux M, Harrison DD, Harrison DE, Perron DL, Ferrantelli JR, Janik T. three dimensional evaluation of posture in standing with the PosturePrint: an intra- and inter-examiner reliability study. *Chiropr Osteopat* 2007; 15; 5.
13. Rosário JLP, Nakashima IY, Rizopoulos K, Kostopoulos D, Marques AP. Improving posture: Comparing segmental stretch and muscular chains therapy. *Clinical Chiropractic* 2012; 15; 121-128.
14. Sinzato CR, Taciro C, Pio CA, Toledo AMT, Cardoso JR, Carregaro RL. Effects of 20 sessions of Pilates method on postural alignment and flexibility of young women: pilot study. *Fisioter Pesq* 2013; 20; 143-150.
15. Macedo RMB, Ricieri DV, Ulbricht L, Preis C, Duarte JM, Bertassoni L. Análise cinemática 2d da postura ortostática de ciclistas lombálgicos. *União de 2013; 14; 7-23*.
16. Horton MG, Hall TL. Quadriceps femoris muscle angle: normative values and relationships with gender and selected skeletal measures. *Phys Ther* 1989; 69; 897-901.
17. Livingston AV, Mandigo JL. Bilateral Q angle asymmetry and anterior knee pain syndrome. *Clin Biomech*, 1999; 14; 7-23.
18. Eng JJ, Pierrynowski MR. The effect of soft foot orthotics on three-dimensional lower-limb kinematics during walking and running. *Phys Ther* 1994; 74; 836-44.
19. Christie HJ, Kumar S, Warren SA. Postural aberrations in low back pain. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76; 218-224.
20. Kritz MF, Cronin J. Static posture assessment screen of athletes: Benefits and considerations. *SCJ* 2008; 5; 18-27.

# Efectos de la fatiga sobre la actividad muscular durante sucesivos test de sentadilla (30 seg)

---

A.F. SAN JUAN <sup>1</sup>, J. LOUGEDO <sup>2</sup>, R. DOMÍNGUEZ <sup>2</sup>, P. VEIGA-HERREROS <sup>2</sup>,  
P GARCÍA-FERNÁNDEZ<sup>2</sup>, M.V. GARNACHO-CASTAÑO <sup>3</sup>, MC LOZANO-ESTEVA <sup>2</sup>,  
J. GUODEMAR-PÉREZ <sup>4</sup>, J.L. MATÉ-MUÑOZ <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad Ciencias de la Actividad Física y Deporte-INEF, Departamento Salud y Rendimiento Humano, Universidad Politécnica de Madrid

<sup>2</sup> Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Alfonso X el Sabio, Villanueva de la Cañada

<sup>3</sup> Escuela Superior Ciencias de la Salud, TecnoCampus Mataró, Universidad Pompeu Fabra

<sup>4</sup> Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Camilo José Cela, Villanueva de la Cañada

## Resumen

*Introducción:* La fatiga se define como la incapacidad del sistema neuromuscular para mantener un nivel determinado de potencia. La monitorización de la pérdida de altura de salto ha sido utilizada como un indicador de fatiga muscular. La Electromiografía (EMG) es también una herramienta adecuada para determinar la fatiga ya que tiene una alta correlación con las unidades motoras activas (reclutamiento de fibras musculares). El objetivo del presente estudio es evaluar los efectos de la fatiga sobre la actividad muscular en las extremidades inferiores durante sucesivos test de media sentadilla (30 segundos). *Métodos:* 5 sujetos sanos entrenados participaron en el estudio. Realizaron 2 sesiones de test, un test de potencia máxima de media sentadilla y 4 series de un test de capacidad anaeróbica de media sentadilla (30 seg.). *Resultados:* Se observaron diferencias significativas ( $P=0.002$ ) en la comparativa de los efectos inter-sujetos (Vasto lateral vs. Recto femoral). Observamos también diferencias significativas en la comparación por pares ( $P<0.001$ ). *Conclusiones:* Observamos cómo la fatiga modifica la activación neuromuscular del vasto lateral y el recto femoral durante la ejecución de 4 test consecutivos de media sentadilla (30 seg.).

**Palabras clave:** Electromiografía, Fatiga, Fuerza, Media sentadilla.

## Abstract

*Introduction:* Fatigue is defined as an incapacity of the neuromuscular system to maintain a given power level. Monitoring jump height loss during an exercise session has been used as an indicator of muscular fatigue. EMG is also a useful tool to determine fatigue because it has a high correlation with active motor units (muscle fiber recruitment). The objective of this study is to evaluate the fatigue effects over muscle activity in lower extremities during successive test of half squat (30 seconds). *Methods:* 5 healthy, strength-trained individuals participated in the study. They realized in 2 test sessions one maximal power test in half squat and 4 series of an anaerobic capacity test (30 sec) in half squat. *Results:* Significant differences (0.002) were observed in inter-subjects effects (Vastus lateralis vs. Rectus femoris). Also in pairs comparison we observe significant differences ( $P<0.001$ ). *Conclusions:* We observe how fatigue changes the neuromuscular activation of vastus lateralis and rectus femoris during the execution of 4 consecutive half squat test (30 sec).

**Keywords:** Electromyography, Fatigue, Strength, Half Squat.

---

## Correspondencia:

Alejandro San Juan Ferrer. Facultad Ciencias Actividad Física y Deporte-INEF, Departamento Salud y Rendimiento Humano, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Martín Fierro 7, Madrid, CP 28040, España.  
E-mail: alejandro.sanjuan@upm.es

DOI: 10.5821/sibb.25.1.5385

## Introducción

La fatiga se define como la incapacidad del sistema neuromuscular para mantener un nivel de potencia determinado [1]. El salto en contra movimiento o countermovement jump (CMJ), es un movimiento que refleja las propiedades contráctiles y de control neuromuscular globales del sistema locomotor [2]. De este modo, la monitorización de la pérdida de altura de salto durante una sesión de ejercicio ha sido utilizada como un indicador de la fatiga muscular. Numerosos estudios han confirmado la pérdida de altura en el CMJ durante varios ejercicios de ejercicio contra resistencias [3, 4, 5]. La electromiografía de superficie ha demostrado también ser una herramienta útil para la valoración de la fatiga ya que tiene una alta correlación con el número de unidades motoras activas (reclutamiento de fibras) [6, 7, 8]. El presente estudio tiene como objetivo evaluar los efectos de la fatiga sobre la actividad muscular de los miembros inferiores durante sucesivos test de sentadilla (30 seg.).

## Materiales y Métodos

En el estudio participaron 5 sujetos varones con una edad de  $21,2 \pm 1,5$  años, altura de  $180,2 \pm 6,2$  cm y peso de  $80,7 \pm 7,3$  kg. Toda la muestra cumplió los criterios de inclusión propuestos por los investigadores que incluían tener una edad comprendida entre 18 y 25 años; una experiencia en el entrenamiento contra resistencias (frecuencia de 3 sesiones semanales) superior a 6 meses; familiarización con el ejercicio de media sentadilla (MS); levantar, al menos, 150 kg en un test de una repetición máxima (1 RM) en MS; no utilizar ningún suplemento nutricional ni esteroides anabólicos, al menos, en los 6 meses previos; no presentar ningún tipo de alteración cardiovascular, metabólica, pulmonar u ortopédica que pudiese limitar el rendimiento durante el ejercicio. Todos los sujetos fueron reunidos en una sesión en la que se les informó sobre el procedimiento del estudio, además de facilitar un consentimiento informado que firmaron todos los participantes. Durante las 24 horas previas y hasta la finalización del estudio, los

sujetos no realizaron ningún tipo de ejercicio complementario al estudio. Además, durante las 2 horas previas a la realización de las pruebas, los sujetos se abstuvieron de fumar, comer y tomar bebidas con cafeína u otro tipo de estimulantes. El estudio cumplió con la declaración de Helsinki sobre investigaciones con seres humanos, siendo aprobado por el comité de ética de la Universidad Alfonso X El Sabio.

Los sujetos acudieron a un total de 2 sesiones de valoración al laboratorio, en una misma franja horaria (+ 2 horas), separadas entre sí por 72 horas. En la 1ª sesión se realizó un Test de potencia máxima en MS. Durante la 2ª sesión, los sujetos realizaron 4 series del Test de capacidad anaeróbica en MS.

Para el Test de potencia máxima en MS, y después de realizar un calentamiento general y otro específico, los sujetos comenzaron con una carga inicial de 20 kg incrementando la carga en cada serie 10 kg, hasta que la velocidad media obtenida fuese inferior a  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Entonces la carga era ajustada individualmente para cada sujeto con aumentos entre 5kg-1kg, con el fin de determinar el valor de 1RM con la mayor precisión posible. Para velocidades medias mayores a  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se realizaban dos intentos con cada carga correspondiente. Para velocidades medias menores a  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se efectuaba una sola tentativa. El tiempo de recuperación entre cada serie fue de 3 minutos para velocidades medias mayores a  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y de 5 minutos para velocidades medias menores a  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . La media sentadilla se ejecuta con la barra sobre la porción posterior del deltoides en la parte media del trapecio, realizando una extensión completa de las rodillas desde una posición inicial en el que la rodilla se encontraba con una flexión de  $90^\circ$  [9]. Para una mayor seguridad en la realización del test, la valoración se realizó en una máquina Smith (Matrix Fitness).

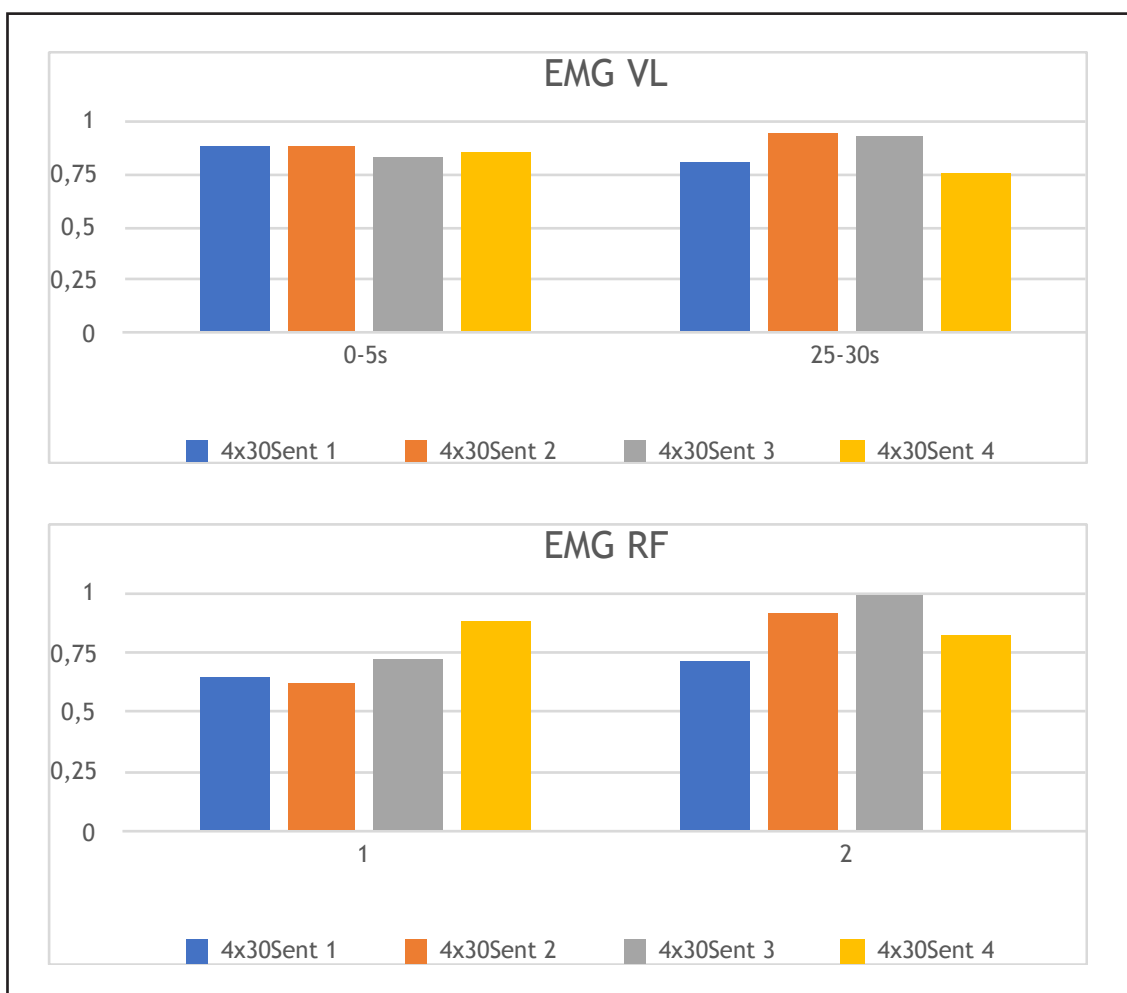
El cálculo de la potencia durante el test de potencia máxima se realizó a través del encoder rotatorio Tendo Weight-lifting Analyzer System (Trencin, Slovak Republic). Este sistema está formado por un cable kevlar que transmite, a través de una interface, instantáneamente la velocidad vertical al software específico de la computadora (Tendo Weight-

lifting Analyzer 3.0.4). Para calcular la velocidad vertical, el sistema divide todo el rango de movimiento en pequeñas secciones fijas, midiendo el tiempo en cada sección con una precisión de un microsegundo.

En la 2ª sesión para la medición de la capacidad anaeróbica de las piernas se realiza un test de resistencia intermitente en un ejercicio de MS con una carga correspondiente a la que se obtuvieron los máximos niveles de potencia en el test de potencia máxima en MS. Debido a que el metabolismo glucolítico láctico obtiene sus máximos niveles de potencia en la contribución al metabolismo energético durante el ejercicio, se ha seleccionado un test de 30

segundos de duración a una intensidad con la que los sujetos obtienen sus máximos niveles de potencia. Dicho test de MS (30 seg.), se realizará en 4 series divididos con 3 minutos de recuperación. A los sujetos se les instruyó a que realicen cada repetición a la máxima velocidad posible.

Durante los test se registraron valores electromiográficos de los fascículos del músculo cuádriceps, Vasto Lateral (VL) y Recto Femoral (RF). Se utilizaron pares de electrodos de superficie (Ag-AgCL, diámetro de contacto 6 mm, distancia entre electrodos 3 cm). Los electrodos de referencia serán colocados por encima de la espina ilíaca anterosuperior. An-



**Figura 1.** Valores EMG normalizados para cada uno de los 4 test de MS (30 seg.). Comparativa entre el primer grupo de (0-5 seg.) y el último de cada test (25-30 seg.), en VL y RF.

tes de colocar los electrodos, se procedió a rasurar la zona de piel, a erosionarla ligeramente con papel de lija de grano muy fino y a limpiarla con gasas y alcohol para minimizar la impedancia a menos de 2 k $\Omega$ . Los cables conectados a los electrodos fueron bien fijados con esparadrapo para minimizar el posible ruido en la señal producido por los movimientos de los miembros inferiores. La actividad mioeléctrica fue registrada con la ayuda de un analizador de EMG (J&J Engineering, Poulsbo, WA). La señal EMG-raw fue filtrada por una banda de paso entre 20 y 400 Hz, amplificada y convertida de señal analógica a digital. La variable rms-EMG (root mean square voltaje) obtenida de cada uno de los 2 fascículos, fue normalizada al máximo valor obtenido en el fascículo correspondiente. Con el fin de facilitar el análisis de resultados, se dividieron los 30 segundos de cada test en grupos de 5 segundos, y se evaluaron en el presente trabajo las diferencias entre el primer grupo (0-5 seg.), y el último (25-30 seg.). En el presente estudio la variable rms-EMG fue utilizada para estimar la “actividad mioeléctrica total” del fascículo en ejercicio. Previamente se ha observado que esta computación 1) es una medida precisa de la amplitud de la EMG, y 2) tiene una alta correlación con el número de unidades motoras activas (reclutamiento de fibras) [6, 7, 8].

En ambas sesiones se realizó un calenta-

miento general consistente en 5 minutos de carrera en tapiz rodante (Technogym, Gambettola, Forli, Italia) a una velocidad de 6 km·h<sup>-1</sup>, así como de 5 minutos de ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos previos, se efectuó un calentamiento específico de una serie de 10 repeticiones de MS con una carga que los sujetos podían desplazar con facilidad. Posteriormente, tras 2 minutos de recuperación se iniciaron los test de la 1ª y 2ª sesión.

El análisis estadístico fue realizado con el software SPSS versión 18.0 (SPSS, Chicago, IL, USA). Se analizó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk. El test de Levene reveló la homogeneidad de varianzas de las variables. Para comprobar las diferencias entre las diferentes variables se aplicó un ANOVA de 2 factores de medidas repetidas. Los datos se presentan como media (M) y desviación estándar (DE), y el nivel de significación estadística fue fijado en  $p < 0,05$ .

## Resultados

En la prueba comparativa de los efectos inter-sujetos (Vasto lateral vs. Recto femoral), la significación es de 0.002 con una diferencia de medias de 0.066. En las comparaciones por pares se observan también diferencias significativas (ver tabla 1).

Test MS	EMG 1 VL	EMG 6 VL	EMG 1 RF	EMG 6 RF	P
Test 1	0.86 ± 0.04	0.79 ± 0.03	0.62 ± 0.03	0.70 ± 0.03	0.000
Test 2	0.86 ± 0.04	0.93 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.90 ± 0.03	0.000
Test 3	0.82 ± 0.02	0.92 ± 0.02	0.71 ± 0.03	0.99 ± 0.02	0.000
Test 4	0.83 ± 0.03	0.74 ± 0.04	0.85 ± 0.04	0.81 ± 0.01	0.2

**Tabla 1.** Valores de EMG normalizados para cada uno de los 4 test de MS (30 seg.). Comparativa entre el primer grupo de (0-5 seg.) y el último de cada test (25-30 seg.). Valores expresados como Media ± DE.



## Conclusiones

Durante el presente estudio hemos observado como la fatiga influye en la activación neuromuscular de los músculos vasto lateral y recto femoral del cuádriceps, durante la ejecución de 4 test de MS de 30 segundos consecutivos. Parece que el RF se activa más con la fatiga del VL y participa más en la producción de fuerza. Esto podría estar relacionado con un mayor riesgo de lesión del RF al colaborar en acciones para las que no está estrictamente diseñado en fatiga del VL.

## Referencias

1. **Rodacki AL, Fowler NE, Bennett SJ.** Multi-segment coordination: fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33:1157-67.
2. **Bobbert MF; Van Soest AJ.** Why do people jump the way they do? *Exerc Sport Sci Rev.* 2001;29:95-102.
3. **Rodacki AL, Fowler NE, Bennett SJ.** Vertical jump coordination: fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc.* 2002; 34:105-16.
4. **Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ.** Velocity Loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1725-34.
5. **Maté-Muñoz JL, Lougedo JH, Barba M, García-Fernández P, Garnacho-Castaño MV, Domínguez R.** Muscular fatigue in response to different modalities of CrossFit sessions. *PLoS One.* 2017;28;12(7):e0181855.
6. **Green, H. J. y Patla, A.E.** (1992). Maximal aerobic power: neuromuscular and metabolic considerations. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24, 38-46.
7. **Moritani, T., And M. Muro.** Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56 : 260-265, 1987.
8. **Lucia, A., San Juan, A.F., Montilla, M., CaNete, S., Santalla, A., Earnest, C. y Pérez, M.** (2004). In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Medicine and Science in Sports and Exercise*,36 (6), 1048-1054.
9. **Bogdanis GC, Tsoukos A, Veligekas P, Tsolakis C, Terzis G.** Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on post-activation potentiation. *J Strength Cond Res.* 2014;28(9):2521-8.



XLI CONGRESO  
**SIBB**  
**MADRID**  
18-19 de Octubre  
**2018**



Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales

**uc3m**

Universidad  
**Carlos III**  
de Madrid



European  
Society for  
Biomaterials



<https://sibb2018.wixsite.com/madrid>

Email: [sibb2018@e-sibb.org](mailto:sibb2018@e-sibb.org)

