

Efectividad del *biofeedback* electromiográfico en la rehabilitación de lesiones deportivas¹

Antonio Hernández-Mendo* y Verónica Morales-Sánchez*

ELECTROMYOGRAPHIC BIOFEEDBACK EFFECTIVENESS IN REHABILITATION OF SPORTS INJURIES

KEYWORDS: Electromyographic biofeedback, Rehabilitation, Neuromuscular rehabilitation.

ABSTRACT: The use of electromyographic biofeedback (EMG-BF) in injury rehabilitation is amply referenced in psychological literature. Despite the pioneering work in the early eighties, in sports, it has hardly transcended its usage in sports injury rehabilitation. A study of twelve cases on professional players from the Spanish league grouped into two different types of pathologies (fractures in the upper limbs and knee injuries) that have been treated to EMG-BF parallel with an established rehabilitation plan is presented by each club's medical team. An ABA design is used. Each session is recorded online pre and post to determine the EMG gain reached at each point of the session. The procedure is considered to be completed when the player stably reaches criteria established by the hemilateral member. In all cases more than one session tracking is undertaken. All cases include notoriously stable improvements. The overall results support the conclusion that the EMG – BF is effective in these pathologies.

La complejidad teórica del *biofeedback* (BF) quizás permite explicar su enorme abanico de posibilidades. Existen al menos dos modelos teóricos que permiten explicarlo, (1) El modelo operante, precursor histórico en este campo y el que más investigación ha generado. Ha demostrado la posibilidad de aplicar esta técnica al aprendizaje de funciones autonómicas y viscerales, y también la posibilidad de aplicarlas con fines de intervención terapéutica en numerosos trastornos psicósomáticos (Conde-Pastor y Menéndez-Balaña, 2002, p.167). Miller (1969) consideraba que solo existía un tipo de aprendizaje y lo que varían son las diferentes condiciones de exposición. Este modelo implica dos consideraciones: (a) el condicionamiento de funciones autonómicas mediante condicionamiento operante (Dicara y Miller, 1969; Engel y Gottlieb, 1970; Miller y Carmona, 1967; Olivares Rodríguez, Méndez Carrillo y Bermejo Alegría, 1998), cuestión que hasta la década de los años setenta se pensaba solo era posible por condicionamiento clásico (Birk, 1973; Shapiro et al., 1969; Shapiro and Surwit, 1976; Shapiro, Tursky and Schwartz, 1970); (b) el papel reforzador del feedback que evidencia el cumplimiento, por parte de la persona, de los objetivos de control de la función biológica, convirtiéndose el BF en un procedimiento de moldeamiento. Esto permite plantear la controversia acerca de la importancia determinante del refuerzo o de la información, lo

cual implica el enfrentamiento de dos concepciones: Condicionamiento operante vs. Teoría de sistemas (Chóliz y Capafons, 1990). En esta polémica, Bilodeau (1969) plantea una solución integradora diferenciando feedback y refuerzo, el primero es previo a la respuesta y el segundo es contingente con esta. Por su parte Shapiro y Surwit (1976) señalan que *feedback* y refuerzo intervienen en procesos distintos, el primero interviene en la creación de respuestas y el segundo en su mantenimiento.

Un aspecto polémico en este modelo es el relativo a como se genera el control de la respuesta, si se produce de forma directa o mediada. En relación al control mediado se han postulado dos tipos de modelos, mediación somático-muscular y de mediación cognitiva (Carrobles y Godoy, 1987). Estos modelos no cuestionan el control operante de la respuestas autónomas, únicamente se cuestiona si los cambios de las respuestas autónomas son directos, o por el contrario están mediados por respuestas del sistema somático-muscular (generación de determinados niveles de relajación muscular o del ritmo respiratorio) o del cognitivo (producción de auto instrucciones o imágenes, expectativas), sin embargo, existen evidencias contradictorias que no posibilita conclusiones claras (Olivares, Méndez-Carrillo y Bermejo-Alegría, 1998)

Correspondencia: Antonio Hernández-Mendo. Dpto. Psicología Social, A. S., T. S. y S. S. Facultad de Psicología. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos s/n. 29071 Málaga.

¹ Este trabajo forma parte de la investigación Observación de la interacción en deporte y actividad física: Avances técnicos y metodológicos en registros automatizados cualitativos-cuantitativos, que ha sido subvencionado por la Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía y Competitividad [DEP2012-32124], durante el trienio 2012-2015.

Ha recibido apoyo del Grupo de Investigación Evaluación Psicosocial en Contextos Naturales: Deporte y Consumo (SEJ 444), financiado por la Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa).

*Universidad de Málaga.

– Artículo invitado con revisión.

El segundo de los modelos (2) es el basado en el aprendizaje de respuestas motoras y en el modelo cibernético, ambos modelos conceden igual valor informativo a la señal, derivándose por tanto la eficacia del BF de este conocimiento preciso que tiene el sujeto de la respuesta (Simón, 1991). Hay autores que conceptualizan el aprendizaje de las respuestas autónomas como el de cualquier habilidad motora (Budzynski, Stoyva, Adler y Mullaney, 1973; Lang, 1974) esto supone enfatizar la importancia de proveer información detallada de la ejecución y de las estrategias utilizadas. El modelo cibernético considera al cuerpo humano constituido por multitud de sistemas de feedback, que mediante un sistema automatizado, mantienen los sistemas homeostáticos bajo control. Cuando los sistemas de control han sufrido algún trastorno psicofisiológico, el BF sería un medio para sobreimponer a un sistema de feedback natural un sistema de feedback artificial que le suministra información al sujeto sobre dichos procesos y facilitaría su control. Esta conceptualización, ha resultado óptima en la rehabilitación neuromuscular. En este modelo se enfatiza el ofrecimiento de información detallada sobre la ejecución y las estrategias utilizadas, puesto que da a la señal un valor fundamentalmente informativo. Junto a estos modelos coexisten otros modelos explicativos, como son el modelo de discriminación de Brener (1974) y el modelo de los dos procesos de Lacroix (1981) (Simón, 1991).

La utilización de técnicas de BF tuvo una especial atención, tanto en la mejora del rendimiento del sujeto (p.e. incremento de las habilidades motoras, control de la ansiedad, etc), como en la rehabilitación de lesiones producidas en el curso del ejercicio (Sandweiss y Wolf, 1985). En esta área destacan los estudios clásicos del BF para el aprendizaje de la actividad fisiológica en las unidades motoras en humanos de Basmajian (1963) y de Hefferline y Keenan (1961), que tuvieron un gran eco en las técnicas de intervención terapéutica y de rehabilitación neuromuscular. Se comenzó a utilizar en los estudios de Maranacci y Horande (1960) en rehabilitación neuromuscular con BF-EMG en pacientes que habían sufrido trombosis cerebral o bloqueos fisiológicos por edema.

Sin embargo su presencia en la clínica psicológica descendió en los años ochenta y noventa, y aunque actualmente se encuentra en un momento de resurgimiento (Conde-Pastor y Menéndez-Balaña, 2002), se ha llegado a perder su presencia en la clínica psicológica y en los manuales de psicología clínica, ganándola en los manuales de fisioterapia. Esta situación aparece claramente dibujada en el trabajo de revisión de Giggins, McCarthy-Persson y Caulfield (2013) sobre el *biofeedback* en la rehabilitación.

La utilización BF-EMG en la rehabilitación ha sido profusamente referenciada (Basmajian, 1963; Carrobes y Godoy, 1987; Giggins, McCarthy-Persson and Caulfield, 2013; Hernández-Mendo, 2009, 2011; Krebs, 1981; Labrador, 1987; Miller, 1978; Simón, 1989, 1991, 1992; Sprenger, Carlson and Wessman, 1979; Vallejo, 1984; Vila, 1981). Existen diversas intervenciones documentadas de BF-EMG aplicadas a diversos tipos de rehabilitación, p.e. de parálisis faciales (Godoy y Carrobes, 1986) o rehabilitación muscular en general (Basmajian, 1988; Basmajian et al., 1985; Beckham et al., 1991; Biederman and Inglis, 1990; Bodenhamer et al., 1986; Bogdanov et al., 1990; Donner, 2001; Fishbain et al., 1988; Gallegos et al., 1992; Ichihara, 1987; Koga, 1991; Koheil et al., 1987; Krebs, 1981; Mulder, 1984; Olson y Malow, 1987; Parra et al., 1987; Simon, 1986; Simon y Alcalde, 1987; Sprenger, Carlson y Wessman, 1979; Stanwood et al., 1984; Tohya, 1991; Tries, 2001,

1989; Van Gelder et al., 1990), incluso en parálisis cerebrales (Keefe y Surwit, 1978; Silver y Blanchard, 1978), lesiones medulares (Gandolfo-Conceição y Da Silva-Gimenes, 2009) hemiplejías (Johnson y Garton, 1973). También ha quedado demostrada su eficacia en el tratamiento en la rehabilitación de la marcha con pacientes de esclerosis (Jarrod Gaudes et al. 2001), en la hipertrofia muscular de la mano (Deepak y Behari, 2000), consiguiendo en estos pacientes mejoras significativas. Igualmente ha sido demostrada su eficacia frente a otros tratamientos (Flor y Birbaumer, 1993). Diversos estudios sobre BF-EMG indican que los pacientes que sufren de déficit sensoriomotor, volitivamente pueden controlar la activación de la musculatura y se vuelven más conscientes de su propia señal EMG (Huang, Wolf y He, 2006).

También hay evidencias sobre la eficacia del BF-EMG en el tratamiento de lesiones en la rodilla, como lo demuestran los trabajos de Dellve et al (2011), Dursun y Dursun (2001), Kirnap et al. (2005), McConnell (1996), Ng, Zhang y Li (2008), Wise, Fiebert y Kates (1984), Yilmaz et al (2010) y Yip y Ng (2006). A pesar de esta abundante literatura, son escasas las referidas a su utilización en la rehabilitación en futbolistas profesionales. En estos casos, el tratamiento debe estar orientado a restaurar la capacidad funcional y a mejorar su trofismo, generalmente mediante la retroalimentación de la actividad-EMG del mismo durante contracción isométrica.

Un aspecto relevante en la valoración del *biofeedback*, es demostrar que la retroalimentación EMG tiene un papel específico sobre la restauración de la capacidad funcional, más allá de la obtenida con la mera realización escalonada y graduada de ejercicios físicos de tensión isométrica, característicos de la terapia física convencional en este ámbito. Por ello, el objetivo fundamental del presente trabajo es valorar la eficacia y efectividad del tratamiento con *biofeedback*-EMG, presentando un estudio de casos múltiples que permiten cumplir los criterios de eficacia de Chambless y Holon (1998). En todos los casos se plantea como meta terapéutica el logro de, cuando menos, una capacidad funcional semejante a la del miembro hemilateral.

Método

Participantes

Los datos se recogieron recogidos entre julio de 2006 y febrero de 2010. Se trata de doce futbolistas profesionales de la Liga Española de Fútbol con edades comprendidas entre los 25 y 34 años, de tres clubs distintos. Diez de ellos presentan diagnósticos de rotura de menisco y posterior meniscectomía en una de las piernas (7 en la derecha y 3 en la izquierda). El total de registros promediados analizados ha sido de 2198 de actividad electromiográfica media y máxima del vasto externo. Otros dos presentan fracturas del hueso radial en el brazo izquierdo que han sido sometidos a las correspondientes intervenciones quirúrgicas antes del presente estudio. El total de registros promediados analizados de estos dos casos ha sido de 133 de actividad EMG media y máxima del radial mayor. Antes de ser sometidos a tratamiento de BF-EMG, todos recibieron rehabilitación de acuerdo a las prescripciones de los Servicios Médicos de cada club y practicaron ejercicios de recuperación funcional. Además del tratamiento de BF-EMG, realizan sesiones de rehabilitación física. En todos los casos se firmaron los correspondientes consentimientos informados respetándose además, los principios de la declaración de Helsinki (revisión de 1983).

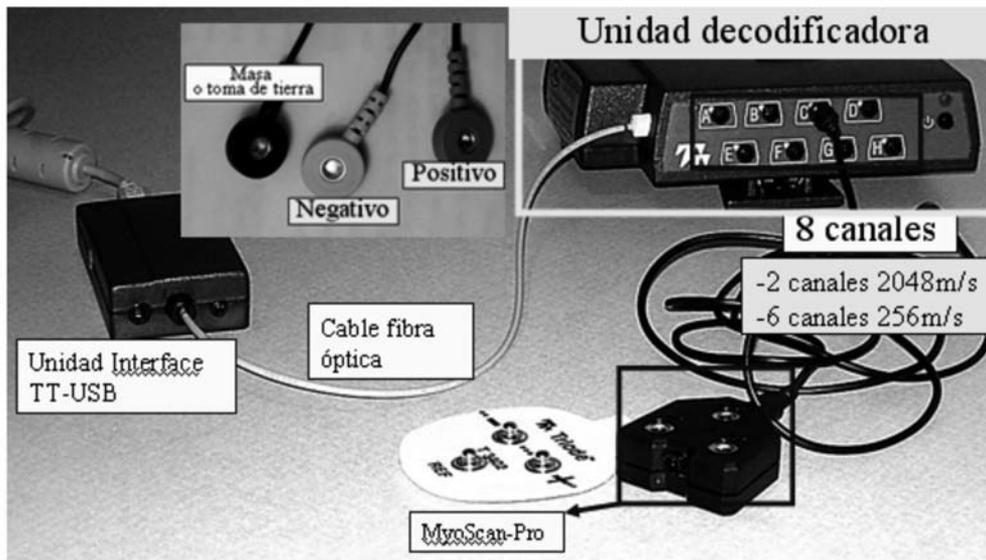


Figura 1. Unidad de biofeedback ProComp Infiniti de 8 canales de la marca Thought Technology, MyoScan-Pro y electrodos para BF-EMG.

Material

El registro de la señal se realizó utilizando una unidad de *biofeedback ProComp Infiniti* de 8 canales de la marca *Thought Technology* con una velocidad de muestreo de 2048m/s. Esta unidad está compuesta de una Unidad Decodificadora y de una Unidad Interface TT-USB conectados por un cable de fibra óptica (Ver Figura 1). Se utilizaron dos tipos de electrodos, unos colocados en una unidad *MyoScan-Pro* (para la intervención en las fracturas del radial) y electrodos individuales en las intervenciones de rodilla. La colocación se realizó siguiendo la distribución anatómica del músculo.

Se utilizó el programa estadístico SPSS v.18 para el cálculo de descriptivos y ANOVA, el programa *SAS* (Schlotzhauer y Littell, 1997; SAS Institute Inc., 1999) para el análisis de componentes de varianza, el software *SAGT* (Hernández-Mendo, Ramos-Pérez y Pastrana, 2012) para el análisis de Generalizabilidad y el programa Excel de Microsoft© para la elaboración de gráficos.

Procedimiento

En todos los casos se realizó una sesión de línea base, de diez ensayos, para evaluar la actividad-EMG media de ambos vastos externos y radiales durante contracción isométrica de máximo esfuerzo, tomándose medidas tanto de la amplitud máxima y media de la señal obtenida como de los tiempos de contracción y

endurecimiento.

Posteriormente, los participantes fueron sometidos a sesiones de entrenamiento, seis para las fracturas de radio, y a diez, las lesiones de rodilla, en días alternos, las cuales estaban precedidas y seguidas de la toma de datos en condiciones de línea base. En cada una de las sesiones se realizaron doce ensayos de contracción isométrica o bien del radial o del vasto externo, recibiendo el sujeto *feedback* de la actividad-EMG en la mitad de los mismos. La línea base pre y post-sesión implicó el mismo procedimiento de las sesiones previas al tratamiento. Al mes de finalizar la intervención se llevó a cabo un seguimiento para evaluar el nivel de mantenimiento de los efectos alcanzados.

En cada contracción isométrica la unidad de *biofeedback ProComp Infiniti* promedia un total de 8192 datos, teniendo, por tanto, cada sesión de doce ensayos un total 98304 datos. Para los casos de 10 sesiones el total de datos promediados ha sido 983040 y para los de 6, 589824. Cuestión de máxima trascendencia para el tratamiento estadístico de los datos.

Resultados

Lesiones de rodilla

Se realiza un análisis descriptivo de la actividad EMG máxima y media de cada participante sobre el total de ensayos realizados, considerando todos los tipos (ver Tabla 1).

Deporte	Participante	Máximo	M
1	Media	467.76	277.80
	N	72	72
	Desv. típ.	77.77	78.01
	Curtosis	-0.46	-0.48
	Asimetría	0.39	0.45
2	Media	395.96	263.97
	N	113	113
	Desv. típ.	104.41	84.150
	Curtosis	-0.20	-0.49
	Asimetría	0.33	0.02
3	Media	442.53	266.29
	N	113	113
	Desv. típ.	98.51	88.15
	Curtosis	-0.29	-0.84
	Asimetría	0.23	0.29
4	Media	416.63	276.30
	N	113	113
	Desv. típ.	132.27	100.64
	Curtosis	-0.19	0.23
	Asimetría	0.48	0.57
5	Media	445.21	280.06
	N	113	113
	Desv. típ.	134.44	113.45
	Curtosis	-0.16	-0.79
	Asimetría	0.47	0.09
6	Media	448.68	288.23
	N	123	123
	Desv. típ.	133.03	95.92
	Curtosis	-0.03	-0.69
	Asimetría	0.50	0.19
7	Media	553.17	354.33
	N	113	113
	Desv. típ.	127.46	87.37
	Curtosis	-0.32	0.18
	Asimetría	-0.37	-0.57
8	Media	463.28	314.35
	N	113	113
	Desv. típ.	129.75	102.94
	Curtosis	-0.35	0.02
	Asimetría	0.20	0.16
9	Media	492.30	316.79
	N	113	113
	Desv. típ.	137.96	92.20
	Curtosis	-0.80	-0.15
	Asimetría	0.14	-0.13
10	Media	508.79	327.55
	N	113	113
	Desv. típ.	141.73	82.16
	Curtosis	-0.64	-0.18
	Asimetría	0.36	0.18
Total	Media	463.14	297.20
	N	1099	1099
	Desv. típ.	131.82	97.53
	Curtosis	-0.35	-0.44
	Asimetría	0.33	0.10

Tabla 1. Descriptivos de la actividad EMG por participante con lesión de rodilla.

Se realiza un análisis descriptivo en función del tipo de ensayo (ver Tabla 2), línea base pre, ensayo con *feedback* y línea

base post, tanto de la media como del máximo de la actividad EMG.

Tipo ensayo		Máximo	M
Línea base pre	Media	423.90	272.00
	N	261	261
	Desv. típ.	112.78	92.88
	Curtosis	-0.45	-0.55
	Asimetría	0.12	0.09
Ensayo con <i>feedback</i>	Media	484.85	305.52
	N	574	574
	Desv. típ.	140.50	99.15
	Curtosis	-0.59	-0.38
	Asimetría	0.37	0.17
Línea base post	Media	454.73	304.00
	N	264	264
	Desv. típ.	119.75	94.57
	Curtosis	-0.67	-0.60
	Asimetría	-0.05	-0.12
Total	Media	463.14	297.19
	N	1099	1099
	Desv. típ.	131.82	97.54
	Curtosis	-0.35	-0.44
	Asimetría	0.34	0.10

Tabla 2. Descriptivos de la actividad EMG en el vasto externo de los ensayos de línea base pre y post y ensayo con *feedback* (lesiones de rodilla).

Se realiza un análisis de componentes de varianza con una estrategia de mínimos cuadrados (*VARCOM TYPE I*) y otra de máxima verosimilitud (*GLM*), tanto para la actividad EMG media como para la máxima. Con ambas estrategias, para los dos análisis se obtiene que el error residual es igual, asumiendo, por tanto, que la muestra es lineal, normal y homocedástica. Se estiman dos modelos, para la media EMG ($y = p * e * t$) y para la actividad máxima EMG ($z = p * e * t$), donde p son personas, e el número de ensayo y t el tipo de ensayo. Ambos modelos resultan significativos, el primero explica el 61.37% de la varianza y el segundo el 57.58%. En ambos modelos resultan significativos las tres facetas (p , e , t) y las interacciones ($p * e$, $p * t$, $p * e * t$). Con estos resultados se realiza un análisis de generalizabilidad y se estima

los índices G en el modelo et/p , que para los valores medios y máximos obtienen índices G similares, el relativo de 0.772 y 0.789 y el absoluto 0.732 y 0.758, respectivamente. En cuanto al modelo ep/t , los índices G alcanzan el valor máximo de 1, tanto con valores medios y máximos. En el modelo pt/e , con valores medio y máximos, los valores G relativos son 0.884 y 0.845; y el absoluto 0.857 y 0.804, respectivamente. Estos datos reafirman la fiabilidad de toda la estructura numérica, en relación al tamaño de la muestra, al número de ensayos y al tipo de ensayos.

Se realiza un ANOVA con los valores medios y máximos considerando los tipos de ensayo y se obtienen diferencias significativas (ver Tabla 3).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
MAX	Inter-grupos	691066.25	2	345533.13	20.60	.000
	Intra-grupos	1.84E7	1096	16778.66		
	Total	1.91E7	1098			
MED	Inter-grupos	217598.58	2	108799.29	11.66	.000
	Intra-grupos	1.02E7	1096	9332.08		
	Total	1.05E7	1098			

Tabla 3. ANOVA de la actividad EMG de los ensayos de línea base pre y post y ensayo con *feedback*.

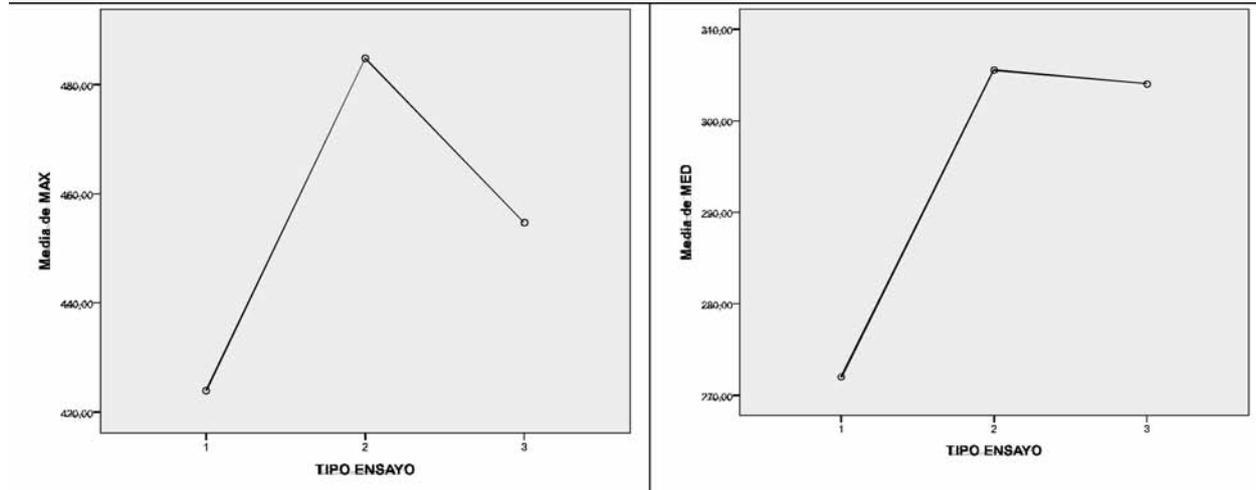


Figura 2. Gráficas de las medias de la actividad EMG máxima y media de los ensayos de línea base pre y post y ensayo con feedback.

Lesiones de brazo

Se realiza un análisis descriptivo de la actividad EMG del

radial mayor por participantes y en función del tipo de ensayo (Tablas 4 y 5).

	N	60	60
	Desv. típ.	41.59	36.90
	Mínimo	252.00	229.22
	Máximo	437.60	392.01
	Rango	185.50	162.79
	Varianza	1729.71	1361.24
	Curtosis	0.14	0.09
	Asimetría	0.91	0.67
Total	Media	335.91	286.90
	N	132	132
	Desv. típ.	45.59	36.66
	Mínimo	252.00	229.22
	Máximo	457.60	392.01
	Rango	205.50	162.79
	Varianza	2078.18	1343.78
	Curtosis	-0.81	-0.47
	Asimetría	0.48	0.48

Tabla 4. Descriptivos de la actividad EMG por participante con lesión de rodilla.

Tipo ensayo		Máximo	M
Línea base pre	Media	320.07	271.91
	N	33	33
	Desv. típ.	44.47	33.91
	Mínimo	257.60	229.22
	Máximo	413.30	342.91
	Rango	155.70	113.69
	Varianza	1977.90	1149.56
	Curtosis	-0.53	-0.32
	Asimetría	0.77	0.85
Ensayo con <i>feedback</i>	Media	346.53	293.03
	N	66	66
	Desv. típ.	43.55	36.11
	Mínimo	279.40	238.19
	Máximo	457.60	392.01
	Rango	178.20	153.82
	Varianza	1896.27	1304.07
	Curtosis	-0.86	-0.16
	Asimetría	0.39	0.39
Línea base post	Media	330.53	289.61
	N	33	33
	Desv. típ.	46.44	37.22
	Mínimo	252.00	239.47
	Máximo	441.30	378.60
	Rango	189.30	139.13
	Varianza	2156.87	1385.66
	Curtosis	-0.55	-0.69
	Asimetría	0.67	0.47
Total	Media	335.91	286.90
	N	132	132
	Desv. típ.	45.59	36.66
	Mínimo	252.00	229.22
	Máximo	457.60	392.01
	Rango	205.50	162.79
	Varianza	2078.18	1343.78
	Curtosis	-0.81	-0.47
	Asimetría	0.48	0.48

Tabla 5. Descriptivos de la actividad EMG en el radial mayor de los ensayos de línea base pre y post y ensayo con *feedback* (lesiones de brazo).

Las gráficas individuales de máximos, muestran todas tendencias de mejora tanto en la actividad EMG promediada como en la máxima (ver Figura 3).

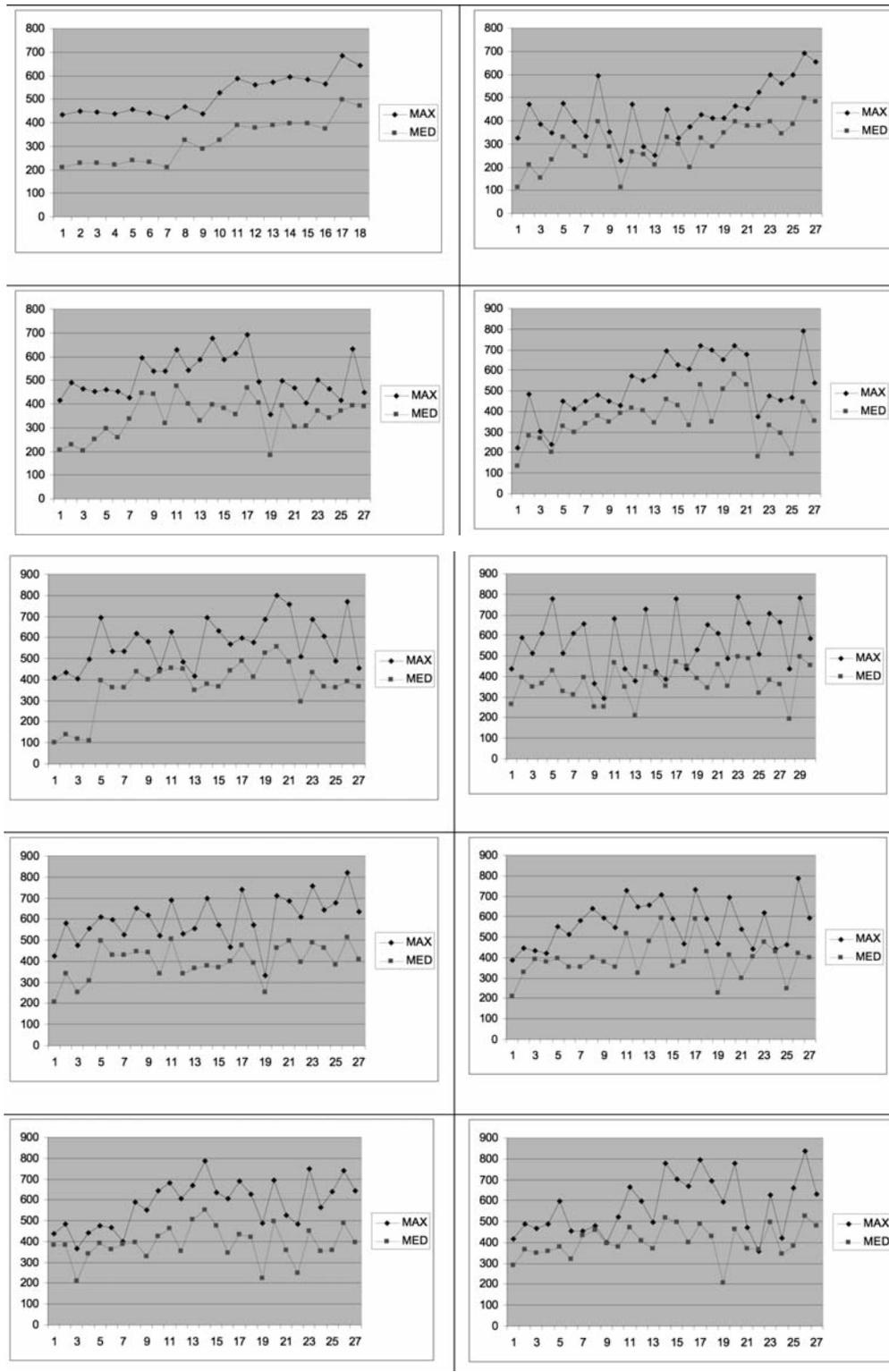


Figura 3. Gráficas de cada participante de puntos máximos por ensayo de actividad EMG máxima y media.

Al igual que en los casos de lesión de rodilla, se realiza un análisis de componentes de varianza con igual estrategia de mínimos cuadrados y de máxima verosimilitud, tanto para la actividad EMG media como para la máxima. Los dos análisis estiman que el error residual es igual, asumiendo que la muestra es lineal, normal y homocedástica. Se estiman dos modelos, para la media EMG ($y_1 = p \cdot e \cdot t$) y para la actividad máxima EMG ($y_2 = p \cdot e \cdot t$), donde p son personas, e el número de ensayo y t el tipo de ensayo. Ambos modelos resultan significativos, el primero explica el 85.44% de la varianza y el segundo el 83.30%. En ambos modelos resultan significativas las tres facetas (p , e , t) y las interacciones ($p \cdot e$, $p \cdot t$). Con la suma de cuadrados se realiza un análisis de generalizabilidad y se estima los índices G

en el modelo *et/p*, que para los valores medios y máximos obtienen índices G cercanos, el relativo de 0.778 y 0.869 y el absoluto 0.657 y 0.847, respectivamente. En cuanto al modelo *ep/t*, los índices G alcanzan el máximo valor (1,00) tanto con valores medios y máximos. En el modelo *pt/e*, con valores medios y máximos, los valores G relativos son 0.953 y 0.878; y el absoluto 0, 857 y 0.610, respectivamente. Estos confirman nuevamente la fiabilidad de toda la estructura numérica, en relación al tamaño de la muestra, al número de ensayos y al tipo de ensayos.

Se realiza un ANOVA (Tabla 6) y se obtienen resultados significativos tanto para los valores medios como para los máximos.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Máximo	Inter-grupos	16670.96	2	8335.48	4.21	.02
	Intra-grupos	255570.20	129	1981.164		
	Total	272241.16	131			
M	Inter-grupos	10143.55	2	5071.786	3.94	.02
	Intra-grupos	165891.03	129	1285.98		
	Total	176034.58	131			

Tabla 6. ANOVA de la actividad EMG en el radial mayor de los ensayos de línea base pre y post y ensayo con feedback.

Las gráficas individuales de máximos, muestran todas tendencias de mejora tanto en la actividad EMG promediada como en la máxima (ver Figura 4).

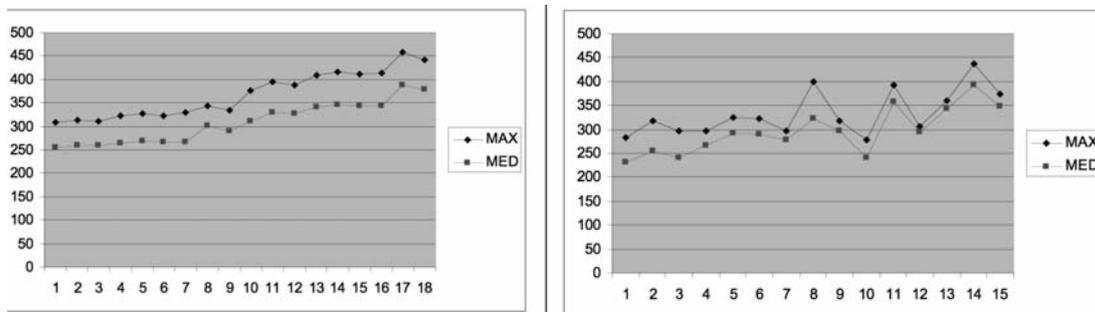


Figura 4. Gráficas de cada participante de puntos máximos por ensayo de actividad EMG máxima y media.

Los resultados obtenidos evidencian un marcado incremento en la actividad-EMG media y máxima tanto del vasto externo (en las lesiones de rodilla) como del radial mayor durante contracción isométrica a lo largo de la intervención. Como se observa en la figura 3 y 4, la actividad-EMG se incrementa de forma consistente de la línea base pre a la línea base post en cada sesión terapéutica, revelándose además una tendencia claramente ascendente en las medidas previas, lo que resulta indicativo de una progresiva ganancia de control bajo condiciones de no feedback.

Progresivamente, la diferencia de actividad entre el miembro derecho y el izquierdo disminuye, existiendo al final de la

intervención una actividad ligeramente superior tanto en el vasto externo como en el radial intervenido. El seguimiento efectuado al mes de finalizar la intervención refleja un mantenimiento de los efectos alcanzados, superando el nivel medio de 800 µV en los casos de vasto externo y de 400 µV en los casos de radial.

Se ha observado, de forma colateral que, de las diversas etapas de la contracción muscular isométrica examinadas, es el tiempo de contracción el que refleja variaciones más significativas a lo largo de la intervención (en un intervalo temporal más breve se alcanza una tensión mayor).

Discusión

En primer lugar, y a pesar de la indiscutible efectividad del BF-EMG en muchas patologías y trastornos, aún se ignoran en muchos casos los mecanismos que subyacen al aprendizaje con *biofeedback*, a pesar de que existan muchos modelos que intentan explicarlo (Conde-Pastor y Menéndez-Balaña, 2002).

En relación a los resultados, los casos presentados muestran la eficacia y la utilidad clínica del *biofeedback*-EMG en la reeducación neuromuscular después de menisectomía y de intervención quirúrgica en radial (Chambless y Hollon, 1998). Igualmente, la efectividad del *biofeedback*-EMG parece superior a la mostrada por la mera realización de ejercicios isométricos sin retroalimentación, por lo cual la práctica guiada y orientada mediante *feedback* presenta un papel específico (ver Figura 3 y 4) (Chambless y Hollon, 1998). Estos resultados están en la línea de otros anteriores (Akkaya et al., 2011; Draper and Ballard, 1991; Krebs, 1981)

Progresivamente, la diferencia de actividad entre los miembro hemilaterales disminuye, existiendo al final de la intervención una actividad ligeramente superior en el miembro intervenido. El seguimiento efectuado al mes de finalizar la intervención refleja un mantenimiento de los efectos alcanzados. De las diversas etapas de la contracción muscular isométrica examinadas, y aunque no ha sido objeto de análisis en este estudio, es el tiempo de contracción el que refleja variaciones más significativas a lo largo de la intervención (en un intervalo temporal más breve se alcanza una tensión mayor).

En los objetivos definidos en este trabajo aparece dibujada una situación de pragmatismo en la intervención psicológica, el enfrentamiento entre los diseños de intervenciones de investigación frente a la intervención psicológica aplicada, situación presente en equipos deportivos profesionales, donde la optimización de los tiempos aparece como una variable de máximo interés en la toma de decisiones sobre estrategias de intervención. Implementar diseños de intervención de bajo coste

en términos temporales que cumplan criterios metodológicos de eficacia, efectividad, eficiencia, fiabilidad y generalizabilidad se hace necesario. Además de esto, en el ámbito clínico debería, de acuerdo a los trabajos de Chambless y Hollon (1998), para ser considerado una intervención con apoyo empírico y designado como eficaz y específico, haber mostrado ser estadísticamente superior a un placebo psicológico, o a un tratamiento alternativo *bona fide* (Principio de Buena Fe), al menos en dos entornos de investigación independientes. Este trabajo ha demostrado cumplir los requisitos metodológicos, y junto con otros anteriores (Basmajian, 1963; Carroble y Godoy, 1987; Deepak y Behari, 2000; Hernández-Mendo, 2009, 2011; Huang, Wolf y He, 2006; Krebs, 1981; Miller, 1978; Simón, 1989, 1991, 1992; Sprenger, Carlson y Wessman, 1979; Labrador, 1987, Vallejo, 1984; Vila, 1981) ha demostrado ser estadísticamente superior a la simple contracción isométrica, en la línea argumental del trabajo de Flor y Birbaumer (1993).

La alta frecuencia de aparición de lesiones en la práctica deportiva, y a tenor de la adecuación del procedimiento utilizado a las exigencias de la rehabilitación post-operatoria, resultaría de interés un estudio pormenorizado de tiempos de contracción y endurecimiento que unido a los estudios ya citados permitiría plantearse su inclusión en los protocolos terapéuticos utilizados en este ámbito.

Una de las limitaciones en el trabajo con BF-EMG es el elevado costo del equipo (que debería ser portátil o inalámbrico) y el coste temporal de cada sesión que se estima entre 45 ó 60 minutos.

Para finalizar, señalar que actualmente se está produciendo un marcado interés por el denominado *biofeedback* orientado a las tareas (Huang, Wolf y He, 2006). Recomendado para pacientes con déficits motores que necesitan recuperar la capacidad funcional. Orientada a facilitar la vida independiente. Hay evidencias que sugieren que la utilización del *biofeedback* en interacción entre el sistema neuromuscular y el medio ambiente resulta más eficaz que el *biofeedback* analítico.

EFFECTIVIDAD DEL BIOFEEDBACK ELECTROMIOGRÁFICO EN LA REHABILITACIÓN DE LESIONES DEPORTIVAS

PALABRAS CLAVE: *Biofeedback*, *Biofeedback* electromiográfico, Rehabilitación, Rehabilitación neuromuscular.

RESUMEN: La utilización del *biofeedback* electromiográfico (BF-EMG) en la rehabilitación de lesiones está sobradamente referenciada en la literatura psicológica. A pesar de los trabajos pioneros en la década de los años ochenta, en el ámbito deportivo, apenas ha trascendido su utilización en la rehabilitación de lesiones deportivas. Se presenta un estudio de doce casos de futbolistas profesionales de la liga española agrupados en dos tipos de patologías distintas (fracturas en los miembros superiores y lesiones de rodilla) que han sido sometidos a un tratamiento de BF-EMG, paralelo al plan de rehabilitación establecido por los servicios médicos de cada club. Se utiliza un diseño ABA. En cada sesión se registra una línea pre y post que permite determinar la ganancia EMG adquirida en cada punto de la sesión. La intervención se da por finalizada cuando el futbolista alcanza de forma estable el criterio establecido por el miembro hemilateral. En todos los casos se realiza una sesión más de seguimiento. Todos los casos presentan mejorías notorias y estables. Los resultados globales permiten considerar que el BF-EMG es eficaz en estas patologías.

A EFFECTIVIDADE DO BIOFEEDBACK ELECTROMIOGRÁFICO NA REABILITAÇÃO DE LESÕES DESPORTIVAS

PALAVRAS-CHAVE: *Biofeedback*, *Biofeedback* electromiográfico, Reabilitação, Reabilitação neuromuscular.

RESUMO: A utilização do *biofeedback* electromiográfico (BF-EMG) na reabilitação de lesões está sobejamente referenciada na literatura psicológica. Apesar dos trabalhos pioneiros na década dos anos oitenta, no âmbito desportivo, quase não transcendeu a sua utilização na reabilitação das lesões desportivas. É apresentado um estudo de doze casos de jogadores profissionais da liga espanhola agrupadas em dois tipos diferentes de patologias (fracturas nos membros superiores e lesões no joelho) que foram submetidos a um tratamento de BF-EMG, paralelamente ao plano de reabilitação estabelecido pelos serviços médicos de cada clube. Foi utilizado um delineamento ABA. Cada sessão é registada online pré e pós permitindo determinar o ganho EMG adquirido em cada ponto da sessão. A intervenção é concluída quando o futebolista alcança de forma estável o critério estabelecido pelo membro hemilateral. Em todos os casos, mais de uma sessão de monitorização é efectuada. Todos os casos apresentam melhorias notórias e estáveis. Os resultados globais permitem considerar que a EMG-BF é eficaz nestas patologias.

Referencias

- Akkaya N, et al. (2011). Efficacy of electromyographic biofeedback and electrical stimulation following arthroscopic partial meniscectomy: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 26, 224-236.
- Basmajian, J. V. (1988). Research Foundations of EMG Biofeedback in Rehabilitation. *Biofeedback and Self-Regulation*, 13(4), 275-298.
- Basmajian, J. V., Gowland, C. A., Brandstater, M. E. y Trotter, J. E. (1985). Integrated behavioral and physical therapy in the rehabilitation of the post-stroke arm. *International Journal of Rehabilitation Research*, 8(1), 89-90.
- Basmajian, J. V. (1963). Control and training of individual motor units. *Science*, 141, 440-441.
- Beckham, J. C., Keefe, F. J., Caldwell, D. S. y Brown, C. J. (1991). Biofeedback as a means to alter electromyographic activity in a total knee replacement patient. *Biofeedback and Self Regulation*, 16(1), 23-35.
- Biedermann, H. J. y Inglis, J. (1990). The restoration of control in facial muscles affected by Bell's palsy. Special Issue: Between life and death: Aging. *International Journal of Psychosomatics*, 37(1-4), 73-77.
- Birk, L. (1973). *Biofeedback: Behavioral Medicine*. Nueva York: Grune and Stratton.
- Bodenhamer, E., Coleman, C. y Achterberg, J. (1986). Self-directed EMG training for the control of pain and spasticity in paraplegia: A case study. *Biofeedback and Self Regulation*, 11(3), 199-205.
- Bogdanov, O. V., Pinchuk, D. Yu y Mikhailenok, E. L. (1990). Efficacy of *feedback* signals of different kinds during therapeutic *biofeedback* sessions. *Human Physiology*, 16(1), 1-5.
- Brener, J. M. (1974). A general model of voluntary control applied to the phenomena of learned cardiovascular change. En P. A. Obrist, A. H. Black, J. Brener y L. V. Dicara, *Cardiovascular psychophysiology: Current issues in response mechanisms, biofeedback and methodology* (pp. 365-391). Chicago, IL: Aldine.
- Carrobbles, J. A. y Godoy, J. (1987). *Biofeedback. Principios y aplicaciones*. Barcelona: Martínez Roca.
- Chambless, D. L. y Hollon, S. D. (1998). Defining empirically supported therapies. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 66, 7-18.
- Chóliz, M. y Capafons, A. (1990). Revisión conceptual del *biofeedback*. *Análisis y Modificación de Conducta*, 16(49), 395-416.
- Conde-Pastor, M. y Menéndez-Balaña, F. J. (2002). Revisión sobre las técnicas de *biofeedback* y sus aplicaciones. *Acción Psicológica*, 1(2), 165-181.
- Deepak, K. K. y Behari, M. (2000). Specific muscle EMG biofeedback for hand dystonia. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 24(4), 267-280.
- Dellve, L. et al (2011). Myofeedback training and intensive muscular strength training to decrease pain and improve work ability among female workers on long-term sick leave with neck pain: a randomized controlled trial. *Int Arch Occup Environ Health*, 84,1-12.
- Dicara, L. y Miller, N. E. (1969). Transfer of instrumentally learned rate changes from curarized to non-curarized state: Implications meditational hypothesis. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 68, 159-162.
- Donner, I. O. (2001). Biofeedback. En Bernard Rangé. (Ed.). *Psicoterapias cognitivo-comportamentais um diálogo com a psiquiatria* (pp. 131-142). Porto Alegre: Artmed.
- Draper V. y Ballard L. (1991). Electrical stimulation versus electromyographic biofeedback in the recovery of quadriceps femoris muscle function following anterior cruciate ligament surgery. *Phys Ther*, 71(6), 455-461.
- Dursun, N. y Dursun, E. (2001). Electromyographic biofeedback controlled exercise versus conservative care for patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*, 82(12),1692-1695.
- Engel, B. T. y Gottlieb, S. (1970). Differential operant conditioning of heart rate in the retrained monkey. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 73, 217-225.
- Fishbain, D. A., Goldberg, M., Khalil, T. M., Asfour, S. S. et al. (1988). The utility of electromyographic *biofeedback* in the treatment of conversion paralysis. *American Journal of Psychiatry*, 145(12), 1572-1575.
- Flor, H. y Birbaumer, N. (1993). Comparison of the efficacy of electromyographic biofeedback, cognitive-behavioral therapy, and conservative medical interventions in the treatment of chronic musculoskeletal pain. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 61, 653-658.
- Gallegos, X., Medina, R., Espinoza, E. y Bustamante, A. (1992). Electromyographic *feedback* in the treatment of bilateral facial paralysis: A case study. *Journal of Behavioral Medicine*, 15(5), 533-539.
- Gandolfo-Conceição, M. I y Da Silva-Gimenes, L. (2009). La utilización de la biorretroalimentación en el aprendizaje motor de personas con lesión medular. *Av. Psicol. Latinoam*, 27(1), 177-191.
- Giggins, O. M., McCarthy-Persson, U. y Caulfield, B. (2013). Biofeedback in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 10(60). 2-11.
- Godoy, J. F. y Carrobbles, J. A. (1986). Biofeedback and facial paralysis: An experimental elaboration of a rehabilitation program. *Clinical Biofeedback and Health An International Journal*, 9(2), 124-138.
- Hefferline R.F. and Keenan B. (1961). Amplitude-induction gradient of a small human operant in an escape-avoidance situation. *J Exp Anal Behav*, 4(1),41-43.
- Hernández-Mendo, A. (2009). Efectividad del *Biofeedback* Electromiográfico en la rehabilitación de lesiones deportivas. Un caso de fractura radio. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 62, (1-2), 83-89.
- Hernández-Mendo, A. (2011). Biofeedback electromiográfico en la rehabilitación de lesiones de rodilla. Estudio de dos casos en futbolistas profesionales. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 11(2, supl.), 71-80
- Hernández-Mendo, A. y Morales-Sánchez (2010). Psicología y fútbol profesional: caracterización de un reto pendiente. *Apuntes de Psicología*, 28(2), 237-262.
- Hernández-Mendo, A., Ramos-Pérez, F. y Pastrana, J. L. (2012). SAGT: Programa informático para análisis de Teoría de la Generalizabilidad. SAFE CREATIVE Código: 1204191501059
- Huang, H., Wolf, S. L. y He, J. (2006). Recent developments in biofeedback for neuromotor rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 3(11), 1-12 doi:10.1186/1743-0003-3-11.
- Ichihara, S. (1987). EMG biofeedback training for control of undesired muscle activities in tetraplegic cerebral-palsy. *Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiol*, 5(2), 107-116.
- Jarrod Gaudes, R., Castellano del Castillo, M., Gálvez Castiella, V., Marco Sánchez, P., Omist Ondiviela, S., Pérez De Heredia y Valle, J. L. (2001). Aplicación del *biofeedback* electromiográfico en la rehabilitación de la marcha en esclerosis múltiple. *Rehabilitación*, 35(1), 47-54.
- Johnson, H. E. y Garton, W. H. (1973). Muscle reeducation in hemiplegia by use of EMG device. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 54, 320-325.

- Keefe, F. y Surwit, R. S. (1978). Electromyographic biofeedback: behavioral treatment of neuromuscular disorders. *Journal of Behavioral Medicine*, 1, 13-24.
- Kirnap M. et al. (2005). The efficacy of EMG-biofeedback training on quadriceps muscle strength in patients after arthroscopic meniscectomy. *J N Z Med Assoc*, 118(1224), U1704.
- Koga, S. (1991). Awareness and electromyography *biofeedback* in the acquisition of control of a novel muscular activity. *Japanese Journal of Psychology*, 62(5), 308-315.
- Koheil, R. M., Sochaniwskyj, A. E., Bablich, K., Kenny, D. J. et al. (1987). *Biofeedback* techniques and behaviour modification in the conservative re-mediation of drooling by children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 29(1), 19-26.
- Krebs, D. E. (1981). Clinical electromyographic feedback following meniscectomy. A multiple regression experimental analysis. *Physical Therapy*, 61, 1017-1021.
- Labrador, F. J. (1987). Técnicas de biofeedback. En Mayor, J. y Labrador, F. J. (Eds.). *Manual de modificación de conducta* (pp. 361-398). Madrid: Alhambra Universidad.
- Lacroix, J. M. (1981). The adquisition of autonomic control through biofeedback: The case against an afferent process and two-process alternative. *Psychophysiology*, 18(5), 573-587.
- Lang, P. J. (1974). Learned control of human heart rate in a computer directed environment. En P. A. Obrist, A. H. Black, J. Brener y L. V. DiCara (Eds.), *Cardiovascular psychophysiology* (pp. 392-405). Chicago, IL: Aldine.
- Marinacci, A. y Horande, M. (1960). Electromyogram in neuromuscular reeducation. *Bulletin of the Los Angeles Neurological Society*, 25, 57-71.
- McConnell J. (1996). Management of patellofemoral problems. *Man Ther*, 1(2), 60-66.
- Miller, N. E. (1969). Learning of visceral and glandular responses. *Science*, 163, 434-445.
- Miller, N. E. (1978). Biofeedback and visual learning. *Review of Psychology*, 29, 373-404.
- Miller, N. E. y Carmona, A. (1967). Modification of a visceral response, salivation in thirsty dogs, by instrumental training with water reward. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 63, 1-16.
- Mulder, T. W. (1984). EMG feedback in the relearning of motor skills. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie en haar Grensgebieden*. 39(1), 44-54.
- Ng, G. Y., Zhang, A. Q. y Li, C. K. (2008). Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol*, 18(1), 128-33.
- Olivares Rodríguez, J., Méndez Carrillo, F. X. y Bermejo Alegría, R. M. (1998). Técnicas de *biofeedback*. En Olivares Rodríguez, J., Méndez Carrillo, F. X. (Eds.). *Técnicas de Modificación de Conducta*. Madrid: Editorial Biblioteca Nueva.
- Olson, R. E. y Malow, R. M. (1987). Effects of biofeedback and psychotherapy on patients with myofascial pain dysfunction who are nonresponsive to conventional treatments. *Rehabilitation Psychology*, 32(4), 195-204.
- Parra, G., Perez, M. H., Velez, R., Pena, E. et al. (1987). Reeducación neuromuscular de pacientes con síndrome de pie caído: Mediante biorretroalimentación electromiográfica y control cognoscitivo. *Revista de Analisis del Comportamiento*, 3(2), 201-206.
- Sandweiss, J. H., Wolf, S. L. (1985). *Biofeedback and sports science*. Nueva York: Plenum Press.
- Schlottzauer, S. D. y Littell, R. C. (1997). *System for elementary statistical analysis*. (2a. Ed.). Institute Inc. Cary, NC: SAS.
- Shapiro, D. y Surwit, R. S. (1976). Learned control of physiological function and disease. En H. Leitenberg (Ed.), *Handbook of Behavior Modification and Behavior Therapy*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- Shapiro, D., Tursky, B. y Schwartz, G. E. (1970). Control of blood pressure in man by operant conditioning. *Circulation Research*, 26, 27-32.
- Shapiro, D., Tursky, B., Gershon, E. y Stern, M. (1969). Effects of feedback and reinforcement on the control of human systolic blood pressure. *Science*, 163, 588-590.
- Silver, B. V. y Blanchard, E. B. (1978). *Biofeedback* and relaxation training in the treatment of psychophysiological disorders: Or are the machines really necessary? *Journal of Behavioral Medicine*, 1, 217-239.
- Simon, M. A. (1986). El pie equinovaro hemipléjico: Una aproximación experimental desde el *Biofeedback* EMG. *Analisis y Modificación de Conducta*, 12(33), 459-471.
- Simon, M. A. (1989). *Biofeedback y rehabilitación*. Valencia: Promolibro.
- Simon, M. A. (1991). Biofeedback. En V. E. Caballo (Ed.), *Manual de técnicas de terapia y modificación de conducta* (pp. 373-400). Madrid: Siglo XXI
- Simon, M. A. (1992). Aplicaciones clínicas del biofeedback: revisión crítica de su efectividad en diferentes campos de intervención. En M. A. Simon, *Comportamiento y salud* (pp.175-218). Valencia: Promolibro.
- Simon, M. A. y Alcalde, M. C. (1987). Tratamiento del pie equinovaro hemiplejico con *biofeedback* EMG: Evaluación de los efectos a corto plazo. *Analisis y Modificación de Conducta*, 13(37), 525-534.
- Sprenger, C. K., Carlson, K. y Wessman, H. C. (1979). Application of electromyographic biofeedback following medial meniscectomy. *Physical Therapy*, 59, 167-169.
- Stanwood, J. K., Lanyon, R. I. y Wright, M. H. (1984). Treatment of severe hemifacial spasm with biofeedback: A case study, *Behavior Modification*, 8 (4), 567-580.
- Tohya, K. (1991). Effects of cognitive strategies on motor-learning, *Japanese Journal of Psychology*, 62(5), 328-332.
- Tries, J. M. (1989). EMG *feedback* for the treatment of upper-extremity dysfunction: Can it be effective? Special Issue: Neuromuscular education, *Biofeedback and Self Regulation*, 14(1), 21-53.
- Tries, J. M. (2001). Biofeedback measures of pelvic floor muscle function in asymptomatic and incontinent women. *Dissertation Abstract International Section B: The Sciences and Engineering*, 61(7-B), 3892.
- Vallejo, M. A. (1984). Consideraciones acerca de las variables activas del entrenamiento en biofeedback en el tratamiento del dolor crónico. *Revista Española de Terapia del Comportamiento*, 2, 135-158.
- Van Gelder, R. R; Philippart, S. M. y Hopkins, B. (1990). Treatment of facial paralysis of CNS-origin: Initial studies. *International Journal of Psychology*, 25(2), 213-228.
- Vila, J. (1981). Sistemas psicofisiológicos de respuesta humana. En A. Puerto (Ed.), *Psicofisiología*, 1 (pp. 55-90). Madrid: UNED.
- Wise, H. H., Fiebert I. y Kates J. L. (1984). EMG Biofeedback as Treatment for Patellofemoral Pain Syndrome. *J Orthop Sports Phys Ther*; 6(2),95-103.
- Yılmaz, O. et al. (2010). Efficacy of EMG-biofeedback in knee osteoarthritis. *Rheumatol Int*, 30(7), 887-892.
- Yip, S. L. y Ng, G. Y. (2006). Biofeedback supplementation to physiotherapy exercise programme for rehabilitation of patellofemoral pain syndrome: a randomized controlled pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 20(12),1050-1057.