

Auswirkungen von dynamischen Kraftbelastungen und simultaner elektrischer Stimulation auf akute metabolische, enzymatische und hormonelle Reaktionen sowie langfristige Anpassungen differentieller Kraft-, Ausdauer- und Schnelligkeitsparameter an einen 6-wöchigen Trainingsblock

(AZ 070509/13)

Nicolas Wirtz & Heinz Kleinöder (Projektleiter)

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik

1 Problem

Elektromyostimulation (EMS) ist als effektiver Reiz etabliert, um Kraft-, Sprint- und Sprungfähigkeiten von Athletinnen und Athleten zu verbessern (Review von Filipovic, Kleinöder et al., 2012). Die Ergebnisse der meisten Studien basieren auf EMS-Interventionen mit zumeist maximaler Stimulation in isometrischen oder rein konzentrischen Kontraktionsphasen. Zudem beschränkt sich die Stimulation isoliert auf einzelne Muskelgruppen, im speziellen oft auf den Beinstrecker. Solche maximal tolerierbaren Stromstärken lassen nur eine eingeschränkte willkürliche Bewegungsregulation zu. Die Kombination von hochintensiven mechanischen Kraftbelastungen und submaximaler EMS bei dynamischer Bewegungsausführung kann Vorteile beider Methoden vereinen. Dies sind neuronale und strukturelle Anpassungen an intensive mechanische Reize und EMS-spezifische Anpassungen aufgrund der höheren Aktivierung schneller Muskelfasern (Maffioletti, Pensini et al., 2002; Paillard, 2008). Hinzu kommt eine höhere Aktivierung und Kraftentfaltung über das gesamte Bewegungsausmaß (Paillard, Noe et al., 2005). Diese Art des Trainings könnte effektiver als die Stimulation eines einzelnen Muskels bei einer bestimmten Länge funktionelle Fähigkeiten wie Sprung- und Sprintleistungen verbessern. Zusätzlich zur submaximalen Stimulation der Muskulatur über ein festgelegtes Bewegungsausmaß in dynamischer Ausführung können moderne Ganzkörper-EMS Geräte außerdem mehrere Muskelgruppen simultan ansteuern und so Muskelketten unterstützend stimulieren und dadurch das Training intensivieren. Durch die simultane Stimulation von Agonisten und Antagonisten kann auch eine größere Körper- und Gelenkstabilisation erreicht werden. Um die Intensivierung der Methode beurteilen zu können, sollten physiologische Reaktionen und Effekte auf athletische Fähigkeiten untersucht werden.

2 Methode

Um die Effekte der Überlagerung beider Trainingsreize zu untersuchen, wurde die Kniebeuge als eine typische Übung zur Verbesserung der Kraft-, Sprint- und Sprungkraftfähigkeiten gewählt (Cormie, McGuigan et al., 2010). Während dieser Übungsform mit einer Zusatzlast (10 RM) wurden die Hauptmuskelgruppen der Beine und des Rumpfes bei maximaler Reizintensität unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Bewegungsfähigkeit stimuliert (ca. 70 % des individuellen Schmerzmaximums). Es wurde untersucht, welche physiologischen Reaktionen (VO₂, Laktat, hormonelle Blutparameter) während und nach dynamischem Training mit mechanischen Reizen und EMS-Überlagerung auf-

treten und welche Effekte ein 6-wöchiger Trainingsblock auf athletische Fähigkeiten hat. Hierzu haben 2 Trainingsgruppen identisch standardisierte, dynamische Kraftbelastungen (Kniebeugen mit Zusatzlast) durchgeführt, wobei eine Gruppe mit simultan applizierter EMS trainierte (S = „Strength“-Gruppe; S+E = „Strength+EMS“-Gruppe). Hauptmerkmal der Intervention war die Anwendung von EMS in dynamischer Bewegungsausführung von Muskelketten und simultaner Stimulation agonistischer und antagonistischer Muskulatur der Hauptmuskelgruppen (Rumpf-, Gesäß-, Ober- und Unterschenkelmuskulatur). Der Studienverlauf und die Standardisierung der Methode sind in Tab. 1-2 dargestellt.

Tab. 1: Studienverlaufsplan.

Studienwoche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Training 2x/Woche		x	x	x	x	x	x			
DOMS vor und nach jeder TE		x	x	x	x	x	x			
Leistungsdiagnostik	x							x		x
Trainingsbegleitende Diagnostik (VO ₂ , Laktat, Hormone)		x					x			

Tab. 2: Standardisierung der Belastungsmerkmale (x1-13) für beide Gruppen (S; S+E) nach Toigo und Bouthellier (2006) und zusätzliche EMS-spezifische Belastungsmerkmale (y1-5) für die Gruppe S+E nach Lake (1992).

Belastungsmerkmale	Standardisierung
Zusatzlast (x1)	10 RM
Wiederholungszahl (x2)	10
Anzahl der Serien (x3)	4
Pause zwischen den Serien [s] (x4)	90
Trainingseinheiten [pro Woche] (x5)	2
Dauer des Trainingsblocks [Wochen] (x6)	4
Gestaltung der Kontraktionsphasen (vorgegebene Dauer [s] für kon-, exzentrische und isometrische Phase: (k-i-e-i) (x7)	2-1-2-1
Pause zwischen den Wiederholungen (x8)	-
Zeit unter Spannung [s] (x9)	240
Bewegungsausmaß (x11)	Kniewinkel: 90°-180°
Trainingspause zwischen den Trainingseinheiten [h] (x12)	min. 48
Übungsform (x13)	Kniebeuge
Impulszeit und Impulspause („duty-cycle“) während einer Wiederholung [s] (y1)	5-1 (83 %)
Impulsart (y2)	Bipolar
Impulsintensität (y3)	individuell submaximal (70 %)
Impulsbreite (y4)	400 µs
Impulsanstieg (y5)	Rechteckförmig
Stimulationsfrequenz (y6)	85 Hz

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit wurden vor und nach dem 6-wöchigen Trainingsblock innerhalb folgender Diagnostikverfahren Parameter erhoben: Stufentest (VO₂max, Laktat, V₂ und V₄-Schwelle); Wingate Test (Peak-Power); 30-m-Linearsprint und 3 x 10-m-Pendelsprint (Zeit); Counter Movement Jump (Sprunghöhe), Drop Jump (Sprunghöhe und Kontaktzeit); differentielle Kraftdiagnostik in der Leg Press und Leg Curl Machine (F_{max}, P_{max}), sowie Abdominal Press und Back Extension Machine (F_{max}).

3 Ergebnisse und Diskussion

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen sind, dass keine signifikanten Unterschiede in physiologischen Reaktionen auftreten und beide Gruppen ähnlichen Anpassungen unterliegen. EMS simultan zu ausbelastenden mechanischen Kraftbelastungen scheint akut kaum oder nur geringe zusätzliche Effekte auf den Organismus zu haben. Im Bereich der Kraftanpassungen der Beinmuskulatur sind die Effekte ebenfalls ähnlich zwischen den Gruppen, mit zusätzlich spezifischen Verbesserungen der Beinbeugemuskulatur für die S+E-Gruppe. Diese Verbesserungen konnten allerdings nicht in die Bewegungsspezifik des Linearsprints übertragen werden. Anschließende Untersuchungen sollten Programme zum Übertrag dieses gewonnenen Potentials in die Bewegungsspezifik (Utilisation) entwickeln und überprüfen. Beide Gruppen zeigten signifikante Verbesserungen in Sprungkraftfähigkeiten und keine signifikanten Veränderungen der Ausdauerfähigkeiten.

Tab. 4: Mittelwerte \pm Standardabweichung der Gruppen „Strength“ (S) und „Strength + EMS“ (S+E) für Parameter der Intensitätsbeschreibung bei Trainingseinheit 1 (TE1) und TE12 [* = signifikant unterschiedlich zu TE1 ($p < 0.05$)], prozentuale Veränderung von TE1 zu TE12 (%Delta) und Effektstärken nach Cohen.

Parameter	Group	TE 1	TE 12	% Delta TE 1-12	Cohen's d (TE 1:12)
Zusatzlast (kg)	S+E	91,5 \pm 12,5	106,5 \pm 15,7*	+16,4	1,06
	S	85,0 \pm 11,4	97,75 \pm 15,9*	+15,0	0,92
Elektrische Reizintensität	S+E	28,3 \pm 5,0	33,8 \pm 5,8*	+19,6	1,02
	S	-	-	-	-
Sauerstoffaufnahme während der Belastung [L]	S+E	14,0 \pm 2,7	15,7 \pm 1,7*	+12,3	0,75
	S	13,6 \pm 2,5	14,4 \pm 2,3	+5,5	0,33
EPOC [L]	S+E	4,2 \pm 1,1	5,3 \pm 1,1*	+27,3	1,00
	S	3,7 \pm 1,2	4,2 \pm 1,5	+11,6	0,37
Laktatmaximum [mmol·L ⁻¹]	S+E	8,0 \pm 2,2	9,1 \pm 1,6	+13,1	0,57
	S	6,4 \pm 2,3	7,3 \pm 2,0	+14,8	0,42
Delta CK pre-24h [U·L ⁻¹]	S+E	375,5 \pm 471,2	48,3 \pm 195,9*	-327,2	0,91
	S	203,7 \pm 391,3	19,1 \pm 103,8*	-184,6	0,64

Tab. 5: Mittelwerte \pm Standardabweichung der leistungsdiagnostischen Parameter der Gruppen „Strength“ (S) und „Strength + EMS“ (S+E) für Kraftdiagnostik (LP: Leg Press; LC: Leg Curl), Stufentest ($V_4 = 4$ mmol-Schwelle), Wingate Test (PP = Peak Power; MP = Mean Power), Sprint- (30 m linear und Pendelsprint) und Sprungtests (CMJ = Counter Movement Jump) vor (pre), nach (post) und 3 Wochen nach (re) der Intervention [* = signifikant unterschiedlich zu pre; # = signifikant unterschiedlich zwischen den Gruppen ($p < 0,05$)], Effektstärken nach Cohen zwischen pre-post und pre-re.

	Parameter	Group	pre	post	re	Cohen's d (pre-post)	Cohen's d (pre-re)
LP	Frel (N·kg ⁻¹)	E+S	50,4 \pm 3,3	63,3 \pm 13,6*	64,8 \pm 8,8*	1,30	2,16
		S	48,1 \pm 11,1	57,8 \pm 16,6*	61,8 \pm 20,6*	0,69	0,83
	Prel (W·kg ⁻¹)	E+S	21,1 \pm 3,6	22,3 \pm 3,7	23,1 \pm 4,5*	0,35	0,50
		S	19,6 \pm 4,7	19,5 \pm 4,6	21,0 \pm 4,5	0,02	0,31
LC	Frel (N·kg ⁻¹)	E+S	18,0 \pm 1,5	19,0 \pm 1,5	19,5 \pm 1,5*#	0,69	1,05
		S	15,7 \pm 3,3	16,8 \pm 2,5	15,8 \pm 2,3	0,38	0,04
	Prel (W·kg ⁻¹)	E+S	9,8 \pm 1,1	10,9 \pm 1,5*	10,5 \pm 1,3	0,85	0,50
		S	9,1 \pm 2,0	9,1 \pm 1,7	9,3 \pm 2,1	0,01	0,14
Stufentest	VO ₂ max (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	E+S	49,9 \pm 3,3	49,9 \pm 4,5	49,2 \pm 4,0	0,00	0,19
		S	49,8 \pm 3,9	49,1 \pm 4,3	49,7 \pm 4,7	0,17	0,02
	V ₄ (W)	E+S	246 \pm 41	246 \pm 33	261 \pm 36	0,00	0,39
		S	213 \pm 35	226 \pm 28	223 \pm 33	0,41	0,29
Wingate Test	PP (W)	E+S	1111 \pm 96	1101 \pm 146	1165 \pm 85	0,08	0,59
		S	1109 \pm 125	1102 \pm 85	1164 \pm 84	0,06	0,52
	MP (W)	E+S	752 \pm 53	744 \pm 78	775 \pm 56	0,12	0,42
		S	756 \pm 86	770 \pm 68	820 \pm 95	0,18	0,70
Sprint- und Sprungtests	Linearsprint 30 m (s)	E+S	4,21 \pm 0,09	4,24 \pm 0,11	4,24 \pm 0,09	0,30	0,33
		S	4,28 \pm 0,17	4,26 \pm 0,16	4,30 \pm 0,17	0,12	0,12
	Pendelsprint 3 x 10 m (s)	E+S	7,52 \pm 0,18	7,40 \pm 0,20*	7,34 \pm 0,20*	0,63	0,95
		S	7,55 \pm 0,19	7,40 \pm 0,21*	7,47 \pm 0,18	0,75	0,43
	CMJ (cm)	E+S	38,4 \pm 3,1	40,4 \pm 3,7	41,1 \pm 4,4*	0,58	0,70
		S	39,3 \pm 5,6	42,4 \pm 5,9*	43,0 \pm 5,3*	0,54	0,68

Hinsichtlich metabolischer und hormoneller Parameter traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen auf. Auch die erhöhte Trainingsintensität durch Zusatzlast und elektrische Reizintensität resultierte in ähnlichen hormonellen Reaktionen. Lediglich die Sauerstoffaufnahme während und nach der Belastung erhöhte sich für die S+E-Gruppe signifikant (+11,5 %) von TE1 zu TE12, nicht aber für die S-Gruppe (+4,6 %). Laktatkonzentrationen stiegen für beide Gruppen in TE12 über das Niveau von TE1 (S: +13,1 %; S+E: +14,8 %), allerdings nicht signifikant. CK ist für beide Gruppen 24 h nur nach TE1 signifikant erhöht (S: +72,8 %; S+E: +83,9 %) und nicht nach TE12 (S: +8,7 %; S+E: +14,6 %). Dieser Gewöhnungseffekt wurde auch in der Literatur bei Wiederholungen von mechanischen oder elektrischen Reizen gefunden (Aldayel, Jubeau et al., 2010). Trotz ähnlicher physiologischer Reaktionen während und nach TE1 traten gruppenspezifische Unterschiede in der Empfindung muskulärer Schmerzen auf, mit signifikant höheren Ratings der VAS 1-2 Tage nach dem Training für die S+E-Gruppe. Diese Muskelkatersymptome regulierten sich im Laufe der 6-wöchigen Trainingsperiode.

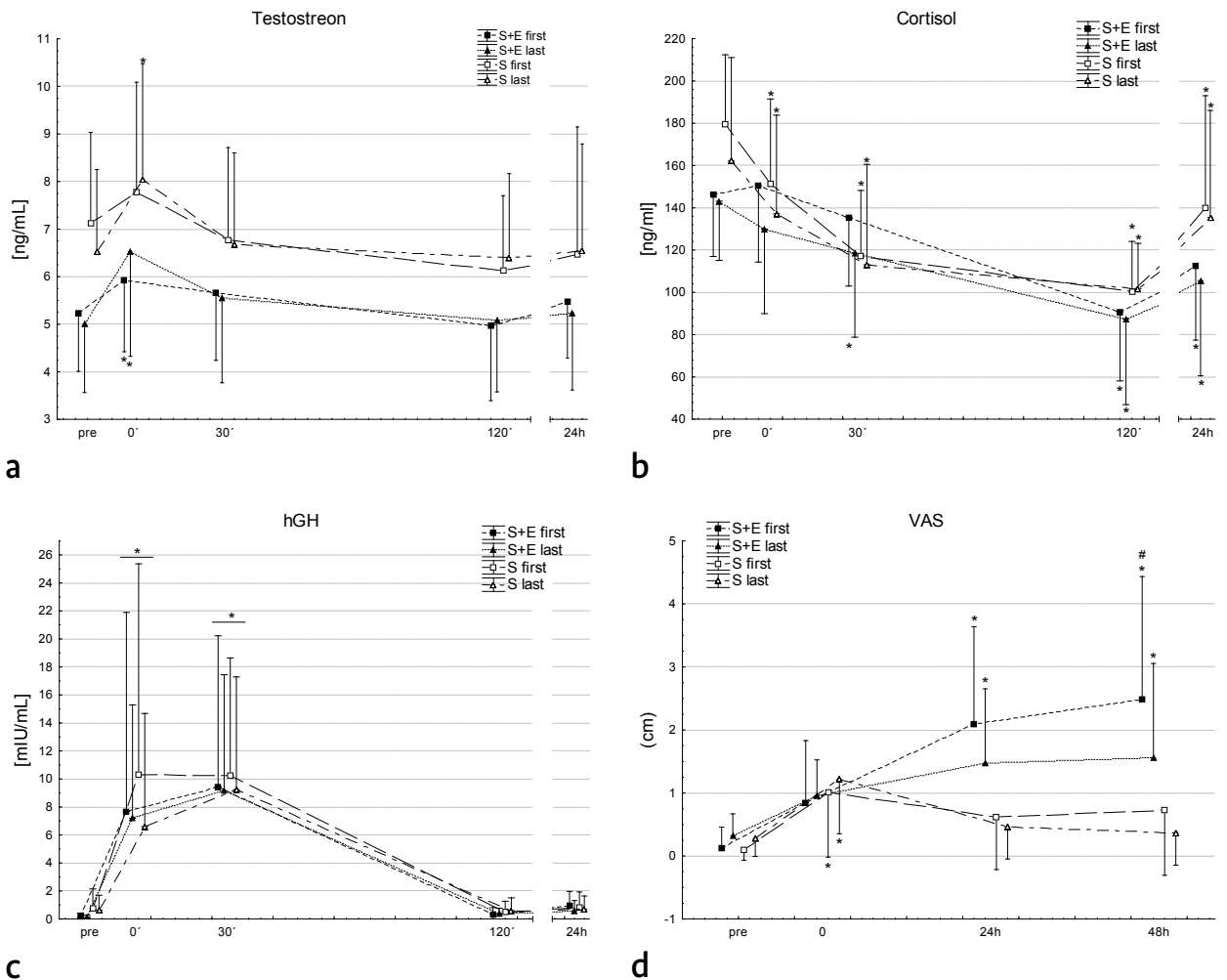


Abb. 1 a-d: Mittelwerte \pm Standardabweichung der Hormonparameter (a-c) und des Schmerzempfindens (d) für die Gruppen „Strength“ (S: schwarz) und „Strength + EMS“ (S+E: weiß) bei Trainings einheit (TE) 1 (first: Viereck) und TE 12 (last: Dreieck): a) Testosteron b) Cortisol c) human Growth Hormone und Schmerzempfindung anhand der d) Visual Analog Scale vor (pre) dem Training, bei Belastungsabbruch (0') und nach dem Training. * = signifikant unterschiedlich zu pre; # = signifikant unterschiedlich zwischen den Gruppen.

Die Reaktionen von hGH, Cortisol und Testosteron unterschieden sich nicht zwischen TE1 und TE12. Dies zeigt, dass der Trainingsreiz durch die progressive Steigerung der Zusatzlast über die 12 Einheiten auch in der 12. Einheit noch groß genug ist, um Signalprozesse im Sinne von endokrinen Reaktionen auszulösen. Die Dauer und Höhe der Reaktionen ist vergleichbar mit ähnlichen Untersuchungen im Krafttraining (Raastad, Bjoro et al., 2000; McCaulley, McBride et al., 2009). Auch für Hormonausschüttungen nach EMS-Belastungen können vergleichbare Ergebnisse gefunden werden, auch wenn meist nur maximal isometrisch (Jubeau, Sartorio et al., 2008; Sartorio, Jubeau et al., 2008) oder exzentrisch (Matsuse, Nago et al., 2010) stimuliert wurde. In der durchgeführten Untersuchung dominiert hingegen der mechanische Reiz der Zusatzlast in dynamischer Bewegung und simultane EMS führt zu keiner stärkeren Reaktion des endokrinen Systems.

Zwar scheint ein hoch gewählter mechanischer Reiz die Belastung zu dominieren und Anpassungserscheinungen zu limitieren. Dennoch kann Gk-EMS als Hilfestellung für Ungeübte dienen, durch positive Auswirkungen auf Körperwahrnehmung und Gelenkstabilisierung. Als interessanter Aspekt auf hohem Leistungsniveau wurden Anpassungen der antagonistischen Muskulatur (Beinbeuger) gefunden. Die Methode bietet eine Alternative, rumpfstabilisierende (Rückenstreckung) und bei der Kniebeuge antagonistisch arbeitende Muskulatur (Beinbeuger) zu kräftigen. Folgende Untersuchungen sollten Reizkonstellationen entwickeln, welche die wiederholt gefundenen Vorteile von dynamischer EMS im Bereich der Kraftanpassungen in die Bewegungsspezifik übertragen können. Hierunter fallen sowohl typische Kraftbelastungen mit simultaner EMS und anschließender Utilisation, wobei die Zusatzlast geringer gewählt werden kann. Außerdem könnte dynamische EMS simultan zu sprint- oder sprungspezifischen Bewegungsformen (Lauf-ABC etc.) im Sinne eines kraftorientierten Techniktrainings durchgeführt werden.

4 Literatur

- Aldayel, A., Jubeau, M. et al. (2010). Less indication of muscle damage in the second than initial electrical muscle stimulation bout consisting of isometric contractions of the knee extensors. *European journal of applied physiology*, 108 (4), 709-717.
- Bird, S.P., Tarpinning, K.M. et al. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports medicine*, 35 (10), 841-851.
- Cormie, P., McGuigan, M.R. et al. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine and science in sports and exercise*, 42 (8), 1582-1598.
- Filipovic, A., Kleinoder, H. et al. (2012). Electromyostimulation – A Systematic Review of the Effects of Different EMS Methods on Selected Strength Parameters in Trained and Elite Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 26 (9), 2600-2614.
- Jubeau, M., Sartorio, A. et al. (2008). Comparison between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris for growth hormone response and muscle damage. *Journal of applied physiology*. 104 (1), 75-81.
- Kreuzer, S.K.H. & Mester, J. (2006). Effects of whole body electro stimulation training and traditional strength training on various strength and blood parameters of juvenile elite water polo players. *Book of abstracts*. 11th Annual Congress of the European College of Sport Science, Lausanne.
- Lake, D.A. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sports injuries. *Sports medicine*, 13 (5), 320-336.
- Maffiuletti, N.A., Pensini, M. et al. (2002). Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. *Journal of applied physiology*, 92 (4), 1383-1392.
- Matsuse, H., Nago, T. et al. (2010). Plasma growth hormone is elevated immediately after resistance exercise with electrical stimulation and voluntary muscle contraction. *The Tohoku journal of experimental medicine*, 222 (1), 69-75.
- McCaulley, G.O., McBride, J.M. et al. (2009). Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European journal of applied physiology*, 105 (5), 695-704.

- Mester, J., Kleinöder, H. et al. (2010). Spezifizierung der Belastungsparameter und Trainingssteuerung beim Ganzkörper-Elektrostimulationstraining. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch-Forschungsförderung 2009/2010* (S. 141-153). Köln: Sportverlag Strauß.
- Mester, J., Nowak, S. et al. (2009). Kurz- und langfristige Trainingseffekte durch mechanische und elektrische Stimulation auf kraftdiagnostische Parameter. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch-Forschungsförderung 2008/2009* (S. 103-116). Köln: Sportverlag Strauß.
- Paillard, T. (2008). Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports medicine*, 38 (2), 161-177.
- Paillard, T., Noe, F. et al. (2005). Neuromuscular effects of superimposed and combined transcutaneous electrical stimulation with voluntary activity: a review. *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 48 (3), 126-137.
- Raastad, T., Bjoro, T. et al. (2000). Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *European journal of applied physiology*, 82 (1-2), 121-128.
- Sartorio, A., Jubeau, M. et al. (2008). GH responses to two consecutive bouts of neuromuscular electrical stimulation in healthy adults. *European journal of endocrinology*, 158 (3), 311-316.
- Toigo, M. & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European journal of applied physiology*, 97 (6), 643-663.
- Wirtz, N., Dörmann, U., Kleinöder, H., Mester, J. (submitted). Effects of loaded squat exercise with and without application of superimposed EMS on physical performance. *Journal of strength and conditioning research*.