

Endokrine Veränderungen als Reaktion auf sportliches Training



Körperliche Ertüchtigung ist ein starker Stimulus für das endokrine System. Intensive sportliche Betätigung stimuliert akut die Freisetzung von Kortison, Prolaktin, Testosteron und Wachstumshormon. Die hormonellen Reaktionen auf intensives Widerstandstraining und aeroben Ausdauersport können je nach Trainingszustand und Belastung sehr unterschiedlich sein. Durch regelmäßiges Training kann zudem das Hormonprofil im Ruhezustand beeinflusst werden. Reaktionen des endokrinen Systems auf sportliche Aktivitäten stehen auch im Zusammenhang mit der metabolischen Gesundheit. Insbesondere sind positive Effekte im Bereich des Kohlenhydratstoffwechsels nachgewiesen worden, die sich auch sinnvoll therapeutisch nutzen lassen.

Unmittelbar nach intensivem Widerstandstraining oder Ausdauertraining wird bei Männern ein erhöhter Serum-Testosteronspiegel registriert [1–4]. Diese akute Reaktion des endokrinen Systems wirkt sich allerdings nicht auf den Androgenstatus im Ruhezustand aus. Verschiedenen Beobachtungen zufolge wird der Testosteronspiegel durch exzessives Krafttraining zumeist stärker angehoben als nach vergleichbar intensivem aeroben Training. Zugleich haben hormonale Untersuchungen im Bereich der Sportwissenschaften auch gezeigt, dass hoch trainierte Ausdauersportler wie z. B. Marathonläufer oder Triathleten im Ruhezustand einen vergleichsweise erniedrigten Testosteronspiegel aufweisen.

Sowohl bei Männern als auch bei Frauen führt Widerstandstraining zum Ansteigen des Serum-Kortisonspiegels. Diese Reaktion auf körperliche Belastung (Stress) wird über die Aktivierung der adrenalen Achse Hypothalamus-Hypophyse-Nebennierenrinde bewirkt.

Zu hormonalen Aspekten sportli-

cher Aktivität wurde in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von Studien durchgeführt in denen das Ansprechen des endokrinen Systems auf einen Workout in Abhängigkeit vom Alter und Trainingszustand sowie von der Dauer, der Übungsart und dem Trainingsmuster untersucht worden ist.

Akute Veränderung der Kortison- und Testosteronspiegel bei Krafttraining

Unabhängig von der Gesamtmasse der Muskulatur eines Mannes führt anstrengendes Training mit Widerstandsübungen wie insbesondere Kniebeugen (Squats) zu einem akuten Anstieg des Testosteronspiegels. Frauen reagieren hingegen eher mit deutlicher Zunahme der Wachstumshormon-Sekretion. Das Ausmaß des Testosteronanstiegs steigt mit der Masse der belasteten Muskeln sowie mit dem Umfang und der Intensität des Trainingsprogramms. Zudem ist der Effekt von einer hohen Wiederholungsrate und kurzen Ruheintervallen abhängig [5].

Widerstandstraining ist ein wirk-

samer Stimulus für den Aufbau von Muskelmasse und den Zuwachs an Kraft. Dieser Effekt wird bekanntermaßen durch Testosteron unterstützt. Bei einer Supprimierung der endogenen Testosteronproduktion ließ sich Placebo-kontrolliert nachweisen, dass die Reaktion auf Krafttraining bei Androgenmangel deutlich reduziert ist [6].

Auch wenn der anabole Effekt von Testosteron wohl vordergründig durch Dopingaffären Zugang ins breite Bewusstsein der breiten Bevölkerung gefunden hat, steht aus medizinischer Sicht eindeutig der therapeutisch bedeutsame Aufbau von Muskulatur und der Zugewinn an Kraft durch eine Testosteronsubstitutionstherapie in Verbindung mit adaptiertem Krafttraining bei hypogonadalen Männern im Vordergrund. Dieser Effekt ist bei den zumeist älteren Patienten mit einer langfristigen Behandlung verbunden. Im Gegensatz dazu können sich auch durch intensive Widerstandsübungen herbeigeführte Testosteroneffekte akut deutlich leistungssteigernd auswirken. Hierbei spielen offenbar Steroidhormonrezeptoren auf der Plasmamem-

bran eine Rolle, über die – anders als bei den intrazellulären, transkriptorisch wirksamen Rezeptoren – kurzfristig Adaptionen der Muskulatur ausgelöst werden können. Diese Reaktionswege treten insbesondere bei Eliteathleten markant in Erscheinung, was auf deren konditionierte neuromuskulären und endokrinen Systeme zurückzuführen sein dürfte [7].

Sowohl jüngere als auch ältere Männer sprachen auf ein intensives Kniebeugeprogramm mit der Erhöhung ihres Hormonprofils an. Die durch die Kraftübungen induzierte akute Erhöhung der Spiegel an Gesamttestosteron und freiem Testosteron war bei den älteren Teilnehmern allerdings deutlich schwächer ausgeprägt als bei den jüngeren. Mit fortgeschrittener Dauer des Programms erhöhte sich bei den älteren Männern die Testosteronanhebung bei jeder weiteren Trainingseinheit [4].

Die Frage, ob sich erhöhte Testosteronspiegel nach dem Krafttraining auch auf den Testosteronspiegel in Ruhe auswirken, wurde in mehreren Studien positiv beantwortet. Andererseits sprechen bedeutsame Daten dafür, dass zumindest bei Männern mittleren Alters und bei älteren Männern keine Anhebung der basalen Testosteronspiegel durch Krafttraining erreicht wird [8, 9].

Da bei Ratten, nachdem sie zu einer Art Krafttraining veranlasst worden waren, die Bildung von Testosteron im Muskel nachgewiesen wurde, sollte geprüft werden, ob sich der Befund auch auf den Menschen übertragen lässt. Bei jungen Männern und Frauen wurden in Biopsien des Musculus vastus lateralis keine erhöhten Konzentrationen an Testosteron und steroidogenen Enzymen vor (basal) und nach exzessivem Kniebeugegtraining ermittelt. Andererseits wurde bei der elektrolitischen Analyse der Zellproteine die Erhöhung der molekularen Masse einer 17β -Hydroxysteroid-Dehydrogenase (17β -HSD Typ 3) um

etwa 2,8 Da beobachtet. Unabhängig davon scheint beim Menschen durch Krafttraining keine Testosteronsynthese im Muskel stimuliert zu werden [10].

Nach intensivem Widerstandstraining wurden bei nicht trainierten Männern im Alter um die 30 Jahren trendmäßig geringere Anstiege des Kortisonspiegels registriert als bei knapp über 60-jährigen Männern. Der Effekt hält jeweils über mehr als 30 Minuten an. Nach zehn Wochen mit regelmäßigem Krafttraining erhöhte sich der Kortisonspiegel nach einer Trainingseinheit bei den jüngeren Männern in deutlich geringerem Ausmaß als zu Beginn der Testserie. Bei den älteren Teilnehmern war der absenkende Effekt nach wiederholten Krafttraining schwächer ausgeprägt als bei den jüngeren. Zugleich sank bei beiden Altersgruppen der Kortisonspiegel im Ruhezustand. Diesbezügliche Signifikanz wurde allerdings nur bei den älteren Probanden ermittelt [4].

Veränderungen der Testosteron- und Kortisonspiegel bei Ausdauertraining

Intensives Ausdauertraining auf dem Laufband oder Fahrradergometer bewirkt sowohl bei Männern als auch bei Frauen ein Ansteigen der Spiegel von Stresshormonen wie Kortison und Prolaktin. Untersuchungen mit Ausdauertrainierten Männern, die bis an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht wurden, stieg der Kortisonspiegel zunächst deutlich an und erreichte nach 30-minütiger Erholungsphase sein Maximum. Innerhalb der folgenden 60 Minuten wurde das Ausgangsniveau wieder erreicht, um danach signifikant unter den Ausgangswert abzufallen (Abb. 1). Der Verlauf des Prolaktins zeigte bei Erreichen des Erschöpfungszustandes den höchsten Wert und ging während der Erholungsphase kontinuierlich auf das Ausgangsniveau zurück. Die Testo-

steronkurve erreichte ihr Maximum unmittelbar nach dem Training. Bereits nach 60 Minuten war wieder der Ausgangswert erreicht. Der Abfall des Testosteronspiegels setzte sich fort und war 24 Stunden nach dem Test signifikant erniedrigt (Abb. 2). Die Ergebnisse bestätigen die negative Korrelation zwischen Kortison und Gesamttestosteron, wobei davon ausgegangen wird, dass erhöhtes Kortison den Testosteronspiegel

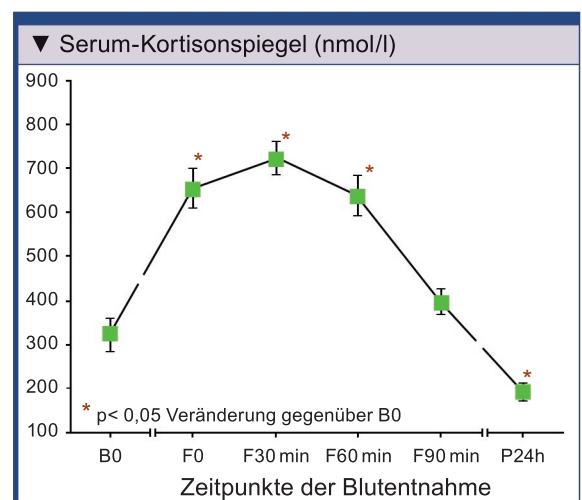


Abb. 1: Kortisonkonzentrationen vor (B0, baseline) und nach dem Training auf dem Laufband bis zur Erschöpfung (F0). Zeitpunkte F30 bis P24h in der Regenerationsphase in denen Blutentnahmen stattfanden (nach Daly W, et al. 2005).

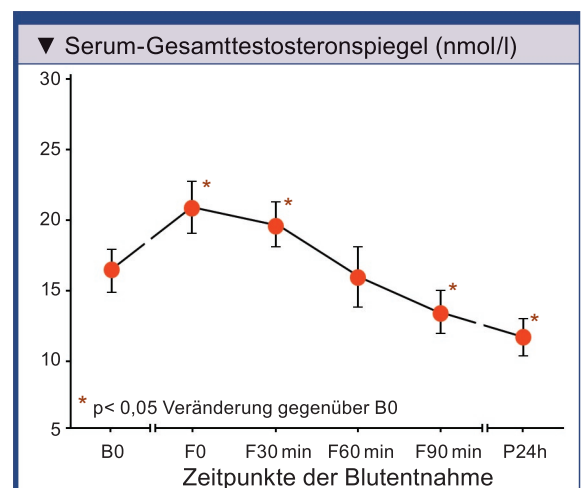


Abb. 2: Gesamttestosteronspiegel vor (B0, baseline) und nach dem Training auf dem Laufband bis zur Erschöpfung (F0). Zeitpunkte F30 bis P24h in der Regenerationsphase in denen Blutentnahmen stattfanden (nach Daly W, et al. 2005).

supprimiert [2].

Inwieweit die Dauer eines Lauftrainings bei relativ niedriger Belastung (55 % der VO_{2max}) die Spiegel von Testosteron und Kortison beeinflusst, wurde mit Ausdauer-trainierten Männern im Alter von 19 bis 49 Jahren untersucht [3]. Sowohl Gesamts als auch freies Testosteron blieben in Ruhe und nach einem 40-minütigen Trainingslauf nahezu unverändert. Beide Spiegel stiegen aber in der ersten Stunde eines 80- und ei-

nes 120-minütigen Trainings um ca. 20 % an und fielen danach wieder deutlich ab, was sich in die anschließende Erholungsphase hinein fortsetzte. Ein Anstieg des Kortisolspiegels trat erst bei dem Trainingslauf über 120 Minuten auf. Üblicherweise wird indes davon ausgegangen, dass Kortison erst ab einem Schwellenwert von 60–70 % der VO_{2max} auf Ausdauertraining anspricht. Es zeigt sich, dass sich unter Trainingsbedingungen mit relativ niedriger Belastung ein eher kataboles hormonelles Milieu erst nach ca. 80 Minuten einstellt.

Nach extremster körperlicher Belastung wie bei einem Ironman / Triathlon wurde auf den Anstieg des Kortisonspiegels nach dem Zieleinlauf ebenfalls ein deutlicher Abfall unter das Ausgangsniveau registriert, der über die folgenden drei Wochen anhält. Zugleich wurden deutlich erniedrigte Testosteronspiegel registriert. Unmittelbar nach dem Triathlon war die systemische Entzündungsreaktion durch eine ausgeprägte Leukozytose gekennzeichnet. Bei den Athleten wurde während der ersten Erholungsphase eine verminderte Immunkompetenz ermittelt, die zu erhöhter Anfälligkeit gegenüber Infektionen führen könnte [11].

ge. Innerhalb von 20 Minuten war der Testosteronspiegel wieder nahezu auf den Wert vor Beginn des Trainings zurückgekehrt (**Abb. 4**).

Die differentesten Reaktionen auf verschiedene Trainingsarten wurden für Insulin registriert. Während ein einziger Spint über 30 Sekunden auf dem Fahrradergometer nach 20 Minuten zur deutlichen Anhebung des Insulinspiegels führte, lag der Insulinspiegel am Ende eines 30-minütigen Radfahrens mit submaximaler Anstrengung signifikant unter dem Ausgangswert. Diese entgegengesetzte Stimulation spiegelt den unterschiedlichen metabolischen Bedarf beider Trainingseinheiten wider. Dem Anstieg des Insulins in der Rahephase nach dem Sprint geht die Zunahme des Blutglukosespiegels voraus. Innerhalb von 40 Minuten kehrt sich dieser Effekt in einen signifikanten Glukoseabfall auf unter den Ausgangswert um. Durch den erhöhten Insulinspiegel kann die Glykogensynthese in Gang kommen, die durch Glukosetransport und Aktivierung der Glykogensynthese angeregt wird [1]. Bei Patienten mit beeinträchtigter Glukosetoleranz, bei denen die Regulation des Blutglukosespiegels nicht optimal ist, gelang es sowohl bei gesunden [12] als auch bei lauffaulen, adipösen Personen [13] die Insulinsensitivität mit einem vierzehntägigen Sprinttraining zu verbessern.

Beeinflusst Krafttraining die Androgen- und Glukokortikoidrezeptor-Expression?

Mit Krafttraining lässt sich sowohl bei jüngeren als auch bei älteren Männern eine Vergrößerung des Querschnitts der beanspruchten Muskelfasern herbeiführen. In den hypertrophierten Synzytien wurden Veränderungen der Gen-Expression verschiedener Proteine nachgewiesen. Untersuchungen zur Expression des Androgenrezeptors (AR) und des Glukokortikoidrezeptors (GR) standen hierbei vielfach im Mittelpunkt

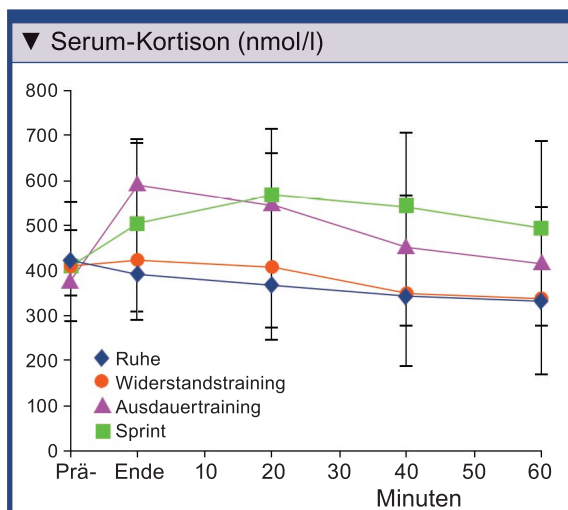


Abb. 3: Serum-Kortisonspiegel in Ruhe sowie nach einem Sprint über 30 Sekunden, einem Ausdauertraining über 30 Minuten und einer 30-minütigen Trainingseinheit mit Widerstandsübungen (nach Stokes KA, et al. 2013).

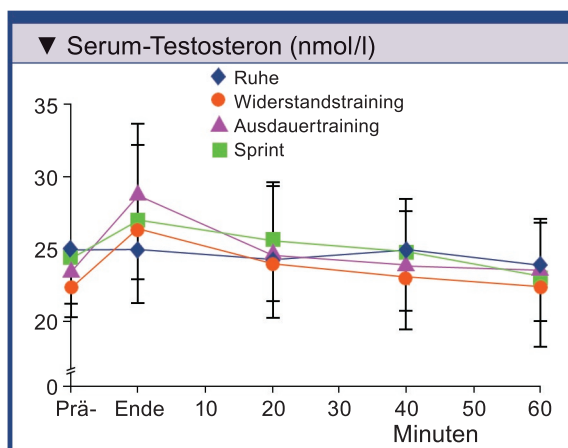


Abb. 4: Serum-Testosteronspiegel in Ruhe sowie nach einem Sprint über 30 Sekunden, einem Ausdauertraining über 30 Minuten und einer 30-minütigen Trainingseinheit mit Widerstandsübungen (nach Stokes KA, et al. 2013).

Reaktionen auf unterschiedliche sportliche Trainingsarten

Bei ein und derselben Person ist das Ausmaß der hormonellen Reaktion auf sportliches Training von der Art der Betätigung abhängig [1]. Ein 30-minütiges Ausdauertraining bei 70 % des maximalen Sauerstoffverbrauchs (VO_{2max}) auf dem Fahrradergometer führte bei jungen Männern zu einem deutlichen Ansteigen des Kortisonspiegels. Nach einem 30-Sekunden-Sprint stieg der Kortisonspiegel erst nach 20 Minuten signifikant auf den Höchstwert (**Abb. 3**). Sowohl Ausdauer-, Sprint- als auch Widerstandsübungen hatten unmittelbar einen deutlichen Anstieg des Serum-Testosteronspiegels zur Fol-

des Interesses. Die einzelnen Studien unterschieden sich bezüglich der Rahmenbedingungen wie Alter und Trainingsstatus der Testpersonen sowie Intensität, Dauer und Art der Übungen. Dementsprechend durchwachsen ist die Übereinstimmung der beobachteten Resultate.

Zum einen wurde über eine Reihe von Studien berichtet, in denen eine Zunahme der AR und/oder der AR-mRNA ermittelt wurde [14–18]. In Biopsieproben des Musculus vastus lateralis von gesunden Testpersonen, die im Abstand von ein bis drei Wochen vor dem Absolvieren einer Übungseinheit mit Beinpressen einmal ruhten (Test 1) und einmal ein intensives Widerstandstraining mit ausschließlicher Beanspruchung des Oberkörpers (Test 2) durchführten, wurde jeweils vor dem Test sowie zehn Minuten und drei Stunden nach Beendigung des Tests der AR-Gehalt bestimmt. Während bei den Männern in Test 1 der Testosteronspiegel nahezu konstant blieb, erhöhte er sich bei Test 2 um 16 %. Bei beiden Tests war der AR-Gehalt vor und 10 Minuten nach den Widerstandsübungen gleich hoch. Nach drei Stunden lag der AR-Gehalt in den Proben bei Test 1 um 33 % niedriger und bei Test 2 um 40 % höher als der Ausgangswert. Der Unterschied erreichte allerdings keine statistische Signifikanz. Offenbar verursacht der Anstieg des Testosteronspiegels bei Test 2 die trendmäßige Vermehrung der AR nach dem Beinpressen [16].

Bei bis dahin untrainierten Probanden kam es unter Widerstandsübungen in Form von Beinpressen zur Hypertrophie des Musculus vastus lateralis. Bestimmungen der AR-Konzentration in Muskelbiopsien ergab in der Gesamtkohorte trainierender Männer (n=20) keine signifikante Veränderung. Allerdings wurde individuell sowohl bei jüngeren als auch bei älteren Probanden eine deutliche Zunahme an AR-Protein registriert [19]. Ähnliche Ergebnisse wurden mit männlichen Probanden erzielt,

die zuvor bereits Krafttraining betrieben hatten. In den Muskelbiopsien waren 48 h nach den Beinpressübungen weder AR-Protein noch AR-mRNA erhöht [20].

Bei Athleten, die mehrmals in der Woche bis täglich Ausdauertraining betreiben, kann es zu anhaltenden Phasen eines Hyperkortikolismus kommen. Da bei chronischer Behandlung mit Glukokortikoiden die Expression von GR- α -mRNA herunterreguliert wird, wurde postuliert, dass auch Ausdauertraining zu Veränderungen bei der GR-Expression führen könnte. Diesbezüglich wurde bei Sportlern mit unterschiedlichen Trainingsplänen in peripheren monozytären Zellen GR- α -mRNA bestimmt. Hoch trainierte Schwimmer mit einem wöchentlichen Trainingsumfang von ca. 22 Stunden in 10 bis 12 Einheiten hatten die zehnfach geringere Menge an GR- α -mRNA in den Blutzellen als untrainierte Probanden. Auch bei weniger trainierten Läufern war es noch ungefähr die Hälfte weniger als bei den untrainierten. Zwischen den drei Gruppen bestanden keine Unterschiede in den Hormonspiegeln. Die Expression von GR- α -mRNA wird je nach Intensität und Häufigkeit der belastenden Stimuli supprimiert [21].

jfs ◀

[1] Stokes KA, Gilbert KL, Hall GM, et al. 2013. Different responses of selected hormones to three types of exercise in young men. *Eur J Appl Physiol* 113:775-783.
 [2] Daly W, Seegers CA, Rubin DA, et al. 2005. Relationship between stress hormones and testosterone with prolonged endurance exercise. *Eur J Appl Physiol* 93:375-380.
 [3] Tremblay MS, Copeland JL, Van Helder W, 2005. Influence of exercise duration on post-exercise steroid hormone responses in trained males. *Eur J Appl Physiol* 94: 505-513.
 [4] Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RU, et al. 1999. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol* 87:982-992.
 [5] Kraemer WJ, Ratamess NA, 2005. Resistance training increases possibility of a positive drug test. *Sports Med* 35:339-361.
 [6] Kvorning T, Andersen M, Brixen K, et al. 2006. Suppression of endogenous testosterone production attenuates the response to strength training: a randomized, placebo-controlled, and blinded intervention study.

Am J Physiol Endocrinol Metab 291:E1325-E1332.

[7] Crewther BT, Cook C, Cardinale M, et al. 2011. Two emerging concepts for elite athletes. The short-term effects of testosterone and cortisol on the neuromuscular system and the dose-response training role of these endogenous hormones. *Sports Med* 41:103-123.
 [8] Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, et al. 2000. Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged men and elderly men and women. *J Gerontol Biol Sci* 55:B95-B105.
 [9] Cadore EL, Lhullier FLR, Brentano MA, et al. 2008. Hormonal responses to resistance exercise in long-term and untrained middle-aged men. *J Strength Cond Res* 22:1617-1624.
 [10] Vingren JL, Kraemer WJ, Hatfield DL, et al. 2008. Effect of resistance exercise on muscle steroidogenesis. *J Appl Physiol* 105: 1754-1760.
 [11] Neubauer O, König D, Wagner K-H, 2008. Recovery after an Ironman triathlon: sustained inflammatory responses and muscular stress. *Eur J Appl Physiol* 104:417-426.
 [12] Richards JC, Johnson TK, Kuzma JN, et al. 2010. Short-term sprint interval training increases insulin sensitivity in healthy adults but does not affect the thermogenic response to beta-adrenergic stimulation. *J Physiol (Lond)* 588:2961-2972.
 [13] Whyte LJ, Gill JMR, Cathcart, 2010. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabol Clin Exp* 59: 1421-1428.
 [14] Bamman MM, Shipp JR, Jiang J, et al. 2001. Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentrations in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 280:E383-E390.
 [15] Willoughby DS, Taylor L, 2004. Effects of sequential bouts of resistance exercise on androgen receptor expression. *Med Sci Sports Exerc* 36:1499-1506.
 [16] Spiering BA, Kraemer WJ, Vingren JL, et al. 2009. Elevated endogenous testosterone concentrations potentiate muscle androgen receptor response to resistance exercise. *J Steroid Biochem Mol Biol* 114:195-199.
 [17] Kraemer WJ, Spiering BA, Volek JS, et al. 2006. Androgenic response to resistance exercise: effects of feeding and L-carnitine. *Med Sci Sports Exerc* 38:1288-1296.
 [18] Hulmi JJ, Ahtiainen JP, Selänne H, et al. 2008. Androgen receptors and testosterone in men – effects of protein ingestion, resistance exercise and fiber type. *J Steroid Biochem Mol Biol* 110:130-137.
 [19] Ahtiainen JP, Hulmi JJ, Kraemer WJ, 2011. Heavy resistance exercise training and skeletal muscle androgen receptor expression in younger and older men. *Steroids* 76:183-192.
 [20] Ahtiainen JP, Lehti M, Hulmi JJ, 2011. Recovery after heavy resistance exercise training and skeletal muscle androgen receptor and insulin-like growth factor-I isoform expression in strength trained men. *J Strength Cond Res* 25:767-777.
 [21] Bonifazi M, Mencarewlli M, Fedele V, et al. 2009. Glucocorticoid receptor mRNA expression in peripheral blood mononuclear cells in high trained compared to low trained subjects. *J Endocrinol Invest* 32:816-820.