일회성 저항운동에 대한 남녀 대학생의 운동자각도, 대사 및 호르몬 반응

박정수¹, 곽효범¹, 김창선², 박동호¹

¹인하대학교 스포츠학과, ²동덕여자대학교 체육학과

RPE, Metabolic and Hormonal Responses to Acute Resistance Exercise in Male and Female College Students

Jung-Su Park¹, Hyo-Bum Kwak¹, Chang-Sun Kim², Dong-Ho Park¹

¹Department of Kinesiology, Inha University, Incheon; ²Department of Physical Education, Dongduk Women's University, Seoul, Korea

PURPOSE: The purpose of this study was to investigate the differences in physiological, metabolic, and hormonal responses after 65% of repetition maximum (RM) in males and females.

METHODS: Males (n=8, 20.0±2.1 years) and Females (n=8, ages 18.5-0.8 years) participated in a resistance session. The resistance exercise (RE) session included 3 sets of seven exercises, 10 repetitions at 65% 1RM intensity with 105 seconds rest periods. Serum free fatty acids (FFA), glucose, growth hormone (GH), estradiol (E), testosterone (T), cortisol (C) and capillary lactate concentrations were measured pre-exercise, post-exercise, 30 minutes, and 60 minutes into recovery. Respiratory variables (EPOC and RER) were also measured after RE session every 5 minutes until 60 minutes.

RESULTS: The relative strength (strength/muscle mass) of the upper body was significantly higher in males than in female (75.3% of male), lower leg strength (89.1% of male) did not show any difference between sex. There were no sex differences in GH, T, C, and E hormone responses including FFA and glucose except lactate (interaction effect, $p=.020$) after resistance exercise. Only GH increased significantly in both sexes immediately after RE.

CONCLUSIONS: These results indicate that an acute bout of RE session included 3 sets of seven exercises, 10 repetitions at 65% 1RM intensity with 105 seconds rest periods can stimulate the metabolism (FFA, glucose and lactate) and GH excluding sex hormones (T and E) including C. On the other hand, there may be sex difference in the lactate response to RE.

Key words: Resistance exercise, Sex, Metabolism, Hormone, FFA

서론

비만은 건강상의 문제를 일으키는 가장 심각한 원인으로 지목되면서[1], 비만관리와 건강증진 및 미용을 목적으로 저항운동을 실시하는 인구가 늘어나고 있다. 저항운동에 따른 생리적 변화와 개선은 수행되

는 저항운동의 세트, 반복횟수 및 양에 따라 차이가 있으나[2] 일반적으로 저항운동에 의한 근육량의 증가는 기초대사량을 증가시켜 체중 조절에 긍정적인 역할을 한다.

저항운동과 관련된 연구는 대부분 장기간 트레이닝의 누적 효과에 대한 연구가 많이 진행되었으며, 일회성 운동에 대한 연구는 대부분 체내의

Corresponding author: Dong-Ho Park Tel +82-32-860-8182 Fax +82-32-860-8188 E-mail dparkosu@inha.ac.kr

*이 연구는 2018년도 인하대학교 교내연구비로 수행되었음.

Keywords 저항운동, 성별, 대사, 호르몬, FFA,

Received 17 Jul 2019 Revised 31 Jul 2019 Accepted 5 Aug 2019

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

단백질 합성과 관련된 성장호르몬, 테스토스테론과 같은 동화작용 호르몬이 주를 이룬다[3-6]. 일회성 저항운동에 따른 대사반응을 비교한 연구에서는 서킷 트레이닝이나 유산소성 사이클링 운동보다 저항운동에서 더 높은 운동 후 산소섭취량(post-exercise oxygen consumption, EPOC)이 발생하고[7], 동일한 칼로리를 소비하는 조건에서도 유산소운동보다 저항운동에서 더 높은 EPOC가 유발되며, 동일한 일량의 저항운동에서도 강도가 올라갈수록 EPOC의 크기는 증가한다[8-10].

여성은 남성과 달리 체지방, 호르몬 및 운동수행력에 대한 생리적 차이뿐만 아니라 골반 넓이, 신장, 체중과 같은 해부학적 및 체격 차이를 지니고 있다[11]. 더욱이, 생리주기에 따라 저항운동 자극에 대한 인체 대사 반응뿐만 아니라 호르몬 반응에서도 차이가 나타난다. Matsuo et al. [12]의 연구에 의하면, 배란기의 EPOC, 기초대사율(resting metabolic ratio, RMR), 운동 후 총에너지소비(Postexercise Total Energy Expenditure, PTEE)가 여포기에 비해 높게 나타나고 운동 후 호흡교환율(resting exchange ratio, RER)은 배란기가 여포기보다 낮게 나타나며, 저항운동 후 성장호르몬 반응에서는 난포기에 비해 황체기에서 더 크게 나타났다[13]. 이러한 연구결과는 남성과 여성이 동일한 형태의 운동을 하더라도 성별뿐 아니라 월경주기에 따른 대사 반응이 다르게 나타날 수 있음을 시사한다. 그러나 대부분의 연구에서 여성의 월경주기가 고려되지 않은 상태에서 실험이 진행되어 결과해석에 대한 제한점이 있었다. 더욱이, 일회성 저항운동 시 성별에 따른 차이를 비교한 연구들에서는 남녀의 최대운동과 최대운동 시 근육성장과 관련된 호르몬 변인들을 비교하는 연구가 대부분이며, 이들 호르몬 반응뿐만 아니라 대사반응을 종합적으로 검토한 연구는 매우 드문 실정이다.

따라서 본 연구에서는 여성의 월경주기(여포기: 월경 후 1-10일 사이)를 고려하여 남녀의 일회성 저항운동에 따른 호르몬 및 대사 반응을 종합적으로 비교함으로써 남녀의 차이를 규명하고자 한다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 1시의 활동적인 남녀 대학생 각각 8명 총 16명의 대상자를 선정하여 실시하였다. 참여자는 모두 비흡연자이며, 과거 6개월부터 현재까지 일주일에 2회 이상의 조깅과 근력운동에 참여하고 있는 건강한 학생들을 대상으로 하였으며, I대학교 의과대학 생명윤리위원회의 승인을 받아 실시하였다. 모든 실험대상자는 실험 48시간 전 신체활동을 제한하고, 24시간 전 알코올 및 카페인 섭취 및 12시간 동안 음식물 섭취를 제한하였다. 실험환경은 21-23°C, 동일 시간에 측정하였다. 여성의 경우 월경주기에 맞춰 여포기 초기단계에 측정하여 월경의 영향력을 최소화한 상태에서 측정하여 가외변수를 최소화하였다(Table 1).

Table 1. Subject characteristics

Gender	Male (n=8)	Female (n=8)
Age (yr)	20.0±2.14	18.5±0.76
Height (cm)	176.6±5.36	162.0±2.97
Weight (kg)	71.9±7.90	56.8±4.76
Body Fat Ratio (%)	13.5±4.50	27.7±3.41
Muscle weight (kg)	34.84±3.46	22.16±1.31
Free Fat Mass (kg)	60.57±5.12	41.71±1.94
RMR (mL/kg/min)	4.18±0.36	4.07±0.48

Values are means and SD.

2. 측정항목 및 변인

1) 신체조성

신장과 체중은 각각 신장계(SECA 214, USA)와 체중계(KASS, USA)를 사용하여 측정하였다. 체지방률(%)은 피부두겹법을 사용하여 가슴, 복부, 대퇴, 상완삼두근, 견갑골 하부, 장골능 상부, 액와중양 7부위를 측정 후 Jackson & Pollock [14] 공식을 이용하여 산출하였다.

2) 안정시대사율 및 VO₂max의 측정

안정시대사율(resting metabolic rate, RMR)은 MetaMax 3B (Potable Gas Analyzer, Metasoft II, USA)를 사용하여 측정하였다. RMR 측정은 12시간의 공복상태에서 오전 8시에 실험실에 도착하여 실험실 환경을 어렵게 조성한 후 누운 상태에서 소음을 최소화하여 30분간 측정하였고, 측정 마지막 5분의 평균치 값을 RMR로 제시하였다.

VO₂max의 측정 역시 MetaMax 3B (Potable Gas Analyzer, Metasoft II, USA)를 사용하였다. 이동식 가스분석기를 사용한 이유는 VO₂max 측정과 RMR 측정시 VO₂의 오차를 최소화하기 위함이었다. VO₂max 측정을 위해 준비운동으로 우선 가벼운 느낌의 속도로 3분간 걷은 후, 6%의 경사에서 4.8 km/h로 시작하여 2분 간격으로 1.2 km/h씩 속도를 증가시켜 참여자가 all-out될 때까지 진행하였다(KISS-프로토콜). 대상적 자료는 20초마다 자동적으로 기록되었다. 측정된 호흡 변수들은 호기량(VE; l/min), 이산화탄소 배출량(VCO₂; l/min), 산소 섭취량(VO₂ mL/kg/min), 호흡교환율(RER), 그리고 산소와 이산화탄소의 등가환기(VE/VO₂와 VE/VCO₂) 등이었다. 운동자각도(Rating of Perceived Exertion, RPE)는 매 단계의 마지막 20초에 기록되었다. VO₂max의 결정은 최대심박수(220-나이)±5 bpm, RER>1.15, RPE>17 및 운동강도의 증가에도 불구하고 VO₂가 항정상태를 이루는 조건 중 마지막 조건을 포함한 3가지 조건 중 2개가 추가로 성립될 때로 하였다.

3) One-Repetition Maximum (1-RM) 측정

1-RM 측정은 Earle에 의한 직접 측정법을 활용하였으며[15], 일반적으로 가장 많이 사용되는 7가지 근력 운동종목(벤치프레스, 스쿼트, 랫풀다운, 레그컬, 암 컬, 트라이셉스 익스텐션, 숄더프레스)으로 선정하였다.

4) 본 운동처치, 채혈시기 및 방법

저항운동 강도는 65% 1RM으로 실시하였으며, 저항운동의 운동내용은 Table 2와 같다.

운동 순서는 벤치프레스, 스쿼트, 랫풀다운, 레그컬, 암컬, 트라이셉스 익스텐션, 숄더프레스 순으로 실시하였다. 참고로 저항운동의 처치는 Drummond et al. [7]의 연구를 토대로 7가지 운동을 10회 3세트 실시하였으며, 105초의 휴식시간을 준 상태에서 서킷 방식으로 실시하였다. 생리학적 변인으로는 운동 직후의 RPE와 심박수를 측정하였다. EPOC와 RER은 운동이 끝난 후 60분 동안 5분 간격으로 측정하였으며, 각 구간의 5분 평균값을 기록하여 측정하였고 채혈 시기는 Fig. 1과 같다. 운동 전(Pre-ex)의 채혈은 주사기를 이용하여 채혈을 실시하였고, 운동 종료 직후(Post-ex)부터는 카테터를 이용하여 채혈을 실시하였다. 카테터를 이용한 이유는 운동종료 직후 EPOC 측정 시 추가적인 채혈로 인한 대사량의 증가로 발생하는 오차를 최소화하기 위함이었다. 카테터를 이용할 때 생리식염수 주입 후 30초간 대기한 다음 채혈을 실시함으로써 생리식염수의 주입으로 발생하는 혈액 희석을 최소화하였다.

혈액분석으로 글루코스와 유리지방산(free fatty acids, FFA)은 생화학 분석기(Hitachi 7150, Kangjian, Japan)를 사용하여 분석하였고 젖산은 젖산분석기(YS1500 Accusport, USA)를 이용하여 측정하였다. 성장호르몬은 125I tray에 standard (A-F), control I, II, sample을 각각 100 μ L씩 분리하여 모든 well GH Ab를 100 μ L씩 나누어 담고, well에 bead를 넣은 후 gamma counter를 이용하여 활성도를 측정하였다. 코티솔은 cortisol anti-body coated tube에 200 μ L의 standard와 sample 그리고 cortisol I125를 1 mL씩 넣어 섞고 37°C 수조에서 45분간 반응시킨 뒤 감마선 계측기를 이용하여 측정하였다. 테스토스테론은 ethyl acetate와 hexame를 3:2 비율로 각 tube에 6 mL씩 넣고 섞은 후 상층 5 mL를 유리튜브에 옮겨 자연증발시켰다. 이후 diluent buffer를 2.5 mL씩 넣

고 다시 antiestrogen을 100 μ L씩 첨가한 뒤 125I 100 μ L의 17B-Estradiol과 100 μ L의 secondary antibody를 첨가하였다. 혼합된 샘플을 4°C, 1,000×g에서 15분간 원심분리 후 감마선 계측기를 이용하여 침전물에 대한 활성도를 측정하였다.

3. 자료처리방법

본 연구의 모든 자료처리는 SPSS 20.0을 사용하여 측정하였다. 성별(남 vs. 여)에 따른 관찰변인들의 시간적(운동 전, 운동 직후, 회복기 30분 및 회복기 1시간 그리고 회복기 60분 동안 5분 간격의 12시점) 변화양상 차이를 알아보기 위해 각각 two-way ANOVA (성별에 따른 시간적 변화)를 이용하였다. 사후분석으로는 Bonferroni를 이용하며, 통계적 유의 수준(α)은 .05로 설정하였다.

연구 결과

1. 1RM 및 저항운동 중 생리학적 변인의 반응

1RM 측정은 Earle에 의한 직접 측정법을 활용하였으며[15], 일반적으로 가장 많이 사용되는 7가지 근력 운동종목(벤치프레스, 스쿼트, 랫풀다운, 레그컬, 암컬, 트라이셉스 익스텐션, 숄더프레스)으로 선정하였고, 이들 결과는 Table 3과 같다.

7가지 저항운동 직후 평균 심박수는 남성이 140.07 $\pm$ 4.95 beat/min, 여성은 128.30 $\pm$ 4.95 beat/min으로 여성보다 높았으나 통계적 차이는 나타나지 않았다. 벤치프레스의 심박수에서만 남성이 여성에 비해 유의하게 높은 것으로 나타났다($p=.015$). 저항운동 후 운동자각도(RPE)의 평균은 남성(14.45 $\pm$ 0.29)이 여성(13.16 $\pm$ 0.29)에 비해 약 1.29 point 높게 나타났다($p=.007$). 또한 랫풀다운($p=.047$), 암컬($p=.003$), 트라이셉스 익스텐션($p=.000$), 숄더프레스($p=.029$)의 RPE는 남성이 여성에 비해 유의하게 높았다(Table 4).

2. 저항운동 후 대사관련 변인의 반응

Fig. 2는 호흡관련 성별 대사와 관련된 차이를 보기 위해 운동 후 에너지소비를 대변하는 EPOC와 에너지형태를 대변하는 RER을 5분 간격으로 측정한 결과를 보여주고 있다. EPOC와 RER 모두 상호작용효과와 성별에 따른 주효과는 나타나지 않았으나 시기에 따른 주효과만 나타났다. 이들 변인 모두 저항운동 5분 후 가장 높았다가 15분까지 다소 가파르게 감소하다가 유지되는 경향을 보였다.

Fig. 1. The scheme of blood sampling.

Table 2. Contents of resistance exercises

Exercise Type	Methods	Contents	Time (min)
Resistance Exercise	65% 1RM, 10 rep., 3 set, 105 seconds rest between sets	Warm-up & Stretching Bench press, Squat, Lat pull down, Leg curl, Arm curl, Triceps extension, Shoulder press	5 45

Fig. 3은 저항운동 후 남녀의 대사와 관련된 혈액 반응에 대한 시기 별(운동 전, 운동 직후, 회복 30분, 회복 60분) 변화를 제시하였다. 글루코스는 성별과 시간에 대한 상호작용효과($p=.284$) 및 성별 주효과($p=.471$)가 나타나지 않았으나 시기에 따른 주효과가 나타났다($p=.001$). 사후분석결과, 남성의 경우는 운동 직후의 글루코스 농도가 회복기 60분보다($p=.016$) 유의하게 높은 반면 여성은 운동 직후가 안정 시보다 유의하게 높았다($p=.015$)(Fig. 3A).

FFA 역시 성별과 시간에 대한 상호작용효과($p=.107$) 및 성별 주효과

($p=.095$)가 나타나지 않았으나 시기에 따른 주효과가 나타났다($p<.001$). 시기 차이에 대한 사후분석 결과, 남성은 운동 직후 회복기 30분보다 유의하게($p<.001$) 높은 반면 여성의 경우는 운동 직후가 회복기 30분($p=.01$)과 60분($p=.024$)에 비해 각각 유의하게 높았다(Fig. 3B).

젖산은 성별과 시간에 대한 유의한 상호작용효과가 나타났다($p=.020$). 사후분석결과, 이러한 상호작용효과는 운동 직후에서 회복기 30분 시기의 감소 패턴의 차이로 기인하였다($p=.006$). 다시 말하면, 남성의 경우 운동 직후 급격하게 증가한 젖산(6.0 mmol/L)이 회복 30

Table 3. Resistance Exercise Capacity in male and female

Exercise Type	Gender	Male (n=8)	Female (n=8)	p
Resistance Capacity	Bench Press (kg)	59.81 ± 2.93	24.01 ± 2.22 ^M	.000
	Squat (kg)	228.94 ± 7.58	143.42 ± 9.67 ^M	.001
	Lat Pull Down (kg)	81.91 ± 2.95	41.33 ± 1.46 ^M	.000
	Leg Curl (kg)	68.52 ± 2.77	40.03 ± 1.56 ^M	.000
	Arm Curl (kg)	28.39 ± 1.56	11.50 ± 0.79 ^M	.000
	Triceps Extension (kg)	64.06 ± 2.80	31.03 ± 2.37 ^M	.021
	Shoulder Press (kg)	59.87 ± 3.87	21.67 ± 2.52 ^M	.000

Values are means and SD.

^MSignificantly different from male.

Table 4. Heart rate and RPE response during resistance exercise in male and female

Variables	HR			RPE		
	Male	Female	p	Male	Female	p
Bench press	136.88 ± 8.74	118.88 ± 16.28 ^M	.015	14.00 ± 1.20	13.25 ± 0.71	.149
Squat	145.13 ± 13.87	139.00 ± 17.70	.454	14.75 ± 1.16	14.25 ± 0.71	.317
Lat Pull down	143.00 ± 14.09	135.38 ± 14.85	.310	14.25 ± 1.39	12.88 ± 1.13 ^M	.047
Leg Curl	135.38 ± 14.11	123.38 ± 13.87	.108	14.00 ± 0.93	13.13 ± 1.13	.112
Arm Curl	142.25 ± 14.88	128.50 ± 17.15	.109	14.63 ± 1.30	12.75 ± 0.71 ^M	.003
Triceps Extension	138.25 ± 14.55	125.13 ± 13.53	.083	14.63 ± 1.06	12.25 ± 1.04 ^M	.000
Shoulder Press	139.63 ± 16.41	127.88 ± 16.82	.179	14.88 ± 1.25	13.63 ± 0.7 ^M	.029
Average	140.07 ± 4.95	128.30 ± 4.95	.179	14.45 ± 0.29	13.16 ± 0.29 ^M	.007

Values are means and SD.

^MSignificantly different from male.

Fig. 2. (A) EPOC, (B) RER for 60 minutes after resistance exercise. Values are means and SD. * $p<.05$, *** $p<.001$.

분 후 2.56 mmol/L로 약 58%의 급격한 감소를 보인 반면 여성은 운동 직후 증가한 젖산(4.44 mmol/L)이 회복 30분에 2.33 mmol/L (47%)로 감소하였으나 감소 정도가 남성에 비해 상대적으로 적게 감소하면서 나타나는 패턴의 차이로 기인하였다(Fig. 3C).

3. 저항운동 후 호르몬 반응

Fig. 4는 저항운동 후 남성과 여성의 성장호르몬, 코티솔, 테스토스테론, 에스트라디올의 시기(운동 전, 운동 직후, 회복 30분, 회복 60분)에 따른 변화를 제시한 것이다. 성장호르몬은 성별과 시기에 의한 상호작용효과 및 성별에 의한 주효과도 없었으나 운동시기에 의한 주효

과가 있었다($p=.003$). 사후분석결과, 남녀 모두 운동 직후가 회복 30분($p=.019$)과 회복 60분($p=.018$)보다 높았고, 회복 30분이 회복 60분보다 높았다($p=.028$). 반면에 회복 60분 후에 안정 시보다 낮았다($p=.029$). 남성호르몬인 테스토스테론은 상호작용효과 및 시기의 주효과에서 유의한 차이가 없었으나 남성이 여성에 비해 유의하게 높았다($p=.000$). 마찬가지로, 여성호르몬인 에스트라디올 또한 여성이 남성에 비해 유의하게 높은 것($p=.003$) 외에 성별과 시기에 대한 상호작용효과 및 시기에 따른 주효과는 없었다. 코티솔은 성별과 시기에 의한 상호작용효과뿐만 아니라 성별과 시기 각각에 대한 주효과도 없었다.

Fig. 3. The responses of FFA, glucose, and lactate over time points. Values are means and SEM. B, baseline; P, immediately post-exercise; 30 min, 30 min after resistance exercise; 60 min, 60 min after resistance exercise. * $p<.05$; ** $p<.01$; *** $p<.001$.

Fig. 4. The responses of GH, testosterone, estradiol and cortisol over time points. Values are means and SEM. B, Baseline; P, immediately post-exercise; 30 minutes, 30 minutes after resistance exercise; 60 minutes, 60 minutes after resistance exercise. * $p<.05$.

논 의

본 연구에서는 20대 남녀 대학생을 대상으로 저항운동 시 성별에 따른 생리적, 대사적 및 호르몬 변인들의 차이를 알아보기 위한 것이었다. 저항운동이 끝난 후 생리학적 변인(RPE, HR 등), 대사관련 변인으로는 호흡변인(EPOC, RER)과 혈액변인(글루코스, 유리지방산, 젖산)을 분석하였고, 호르몬 관련 변인(성장호르몬, 코티솔, 테스토스테론, 에스트라디올)을 측정하여 분석하였다.

1. 성별 저항운동에 대한 근력 및 생리적 반응

Fig. 5에서처럼 부위별 근력을 근육량(kg)으로 나누었을 때 단순히 성별의 절대 근력의 비교와는 달리 상체의 triceps extension ($p=.981$)과 하체의 squat 비율($p=.522$)에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한 Fig. 6에서처럼 상체와 하체를 분리하여 성별비교를 하였을 때 상체근력의 비율(근력/근육량)은 유의한 성별 차이($p=.002$)가 나타났으나 하체의 경우는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p=.378$). 예를 들면, 근육량으로 나누지 않은 절대 근력으로 성별 근력 차이를 비교했을 때 상하체 각각 남성의 47.1%와 58.4%에 해당하였으나 근육량으로 나눈 상댓값으로 비교하면 상하체는 각각 남성의 75.3%와 89.1%로 크게 증가한다.

근력은 근육량과 비교적 높은 상관을 보이는데[16], 남성 268명과 여성 200명을 상대로 MRI 촬영을 실시한 결과에서 남성의 상지근육 비율이 여성에 비해 더 높게 나타났다(42.9% vs. 39.7%). 동일한 운동량의 트레이닝을 실시한 남녀 보디빌더를 대상으로 한 연구에서도 남성이 여성에 비해 더 많은 이두 단면적을 보였다[16]. 또한 여성에 비해 남성에게서 테스토스테론의 농도가 10배 정도 높으며[17], 상체 근육은 하체 근육에 비해 더 많은 안드로젠 수용체가 존재하는 것으로 보고된 바 있다[18]. 이러한 성별 차이는 저항훈련에 따른 상체의 근육량뿐만 아니라 근력발달에서도 차이가 있을 수 있음을 의미하며, 아직도 일치

되지 않는 결과들이 보고되고 있다. 예를 들면, O'Hagan et al. [19]과 Abe et al. [20]의 연구에서는 저항훈련 후 남성에게서 절대 근력의 향상이 여성에 비해 크게 나타난 반면 상대 근력의 향상은 여성에게서 크게 나타난다고 제안한 반면 일부 연구에서는 성별에 따른 차이가 없었다고 보고되었다[20,21]. 한편, 하지의 경우는 동일한 저항훈련 후 절대근력과 상대근력의 개선 정도(%)뿐 아니라 근력에서도 남녀의 차이가 없었다는 보고들이 주를 이루고 있다[22,24]. 본 연구는 일회성 저항운동에 대한 성별 반응을 검토한 것으로, 저항훈련에 따른 개선 정도를 평가할 수 없으나 Dreyer et al. [17]과 Kadi et al. [18]의 결과에서 유추할 수 있듯이 남성과 여성의 상체 상대근력에서 통계적인 차이가 나타났으나 하체의 상대근력에서는 차이가 나타나지 않았고, 이러한 결과는 선행연구들과 유사한 것이다.

본 연구에서의 주요 발견은 심박수의 경우, 대표적인 상체운동인 벤치프레스를 제외하고 성별에 따른 차이가 없었으나, RPE의 경우는 대표적인 상체 운동인 벤치프레스를 제외하고 랫풀다운, 암컬, 트라이셉스 익스텐션, 숄더 프레스 모두 남성이 여성에 비해 유의하게 높았다. 반면 하체운동인 스쿼트와 레그컬에서는 심박수와 운동자각도 모두

Fig. 6. Upper and lower body strength ratio (muscle/muscle mass) of male and female. Upper body strength: bench press+shoulder press+lat pull down+arm curl+triceps extension. Lower body strength: squat+leg curl. ** $p<.01$.

Fig. 5. Ratio (strength/muscle mass) of male and female muscle strength of 7 exercises. P, press; LPD, lat pull down; Ext, extension. ** $p<.01$, *** $p<.001$.

차이가 나타나지 않았다. 즉, 벤치프레스의 경우 심박수는 남성이 여성에 비해 유의하게 높았으나 RPE는 성별에 따른 유의한 차이가 나타나지 않았다는 것이다. 이러한 결과는 여성이 남성에게 비해 하체근육을 상체근육보다 더 많이 사용한다는 선행연구[25] 결과를 부분적으로 지지하는 것으로, 본 연구에서도 여성들의 경우 일상생활에서 상대적으로 많이 사용하는 하체와 달리 실시 빈도가 낮은 상체의 고강도 운동의 경우, 남성에 비해 벤치프레스의 강도가 상대적으로 낮았기에 심박수의 경우 남성이 유의하게 높았던 반면 상대적으로 여성의 벤치프레스 강도는 낮았지만 익숙하지 않은 형태의 운동이기에 RPE는 상대적으로 높아 통계적 차이는 나타나지 않은 것으로 판단된다. 따라서 향후에는 여성의 저항운동 강도 설정의 정확성을 높이기 위한 IRM 측정방법과 함께 상체 및 하체의 저항운동의 숙련 정도에 따른 IRM 차이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2. 저항운동에 대한 대사변인의 반응

본 연구에서 저항운동에 대한 대사반응을 비교하기 위해서 호흡변인인 EPOC, RER과 혈액변인인 글루코스, 유리지방산 및 젖산을 비교하였다. 본 연구 결과에서는 젖산을 제외한 호흡변인과 나머지 혈액변인 모두 상호작용효과는 나타나지 않았으나 시기에 따른 주효과가 나타났다.

저항운동 후 강도와 EPOC의 크기는 비례하는데[26], 동일한 상대적 강도의 운동에서 체중과 체지방을 고려한 EPOC 측정에서도 남성이 여성보다 더 높은 EPOC를 보였다(Fig. 2)[27]. 이는 남성이 더 높은 강도의 운동 수행을 하거나 성별 특징에 따라 EPOC가 영향을 받을 수 있다는 것을 의미한다. 본 연구결과에서 65% 1RM 저항운동 후 EPOC는 남성이 여성에 비해 더 높은 경향을 보였으나 통계적인 차이는 없었다. 한편, 고강도 근력 운동 후 증가된 젖산을 완충하기 위해 사용된 중탄산염을 체내에 보충하기 위하여 세포와 체액에 존재하는 이산화탄소가 이용되며, 이 과정에서 산소섭취는 영향을 받지 않고 호흡을 통한 이산화탄소의 배출이 감소하게 되어 RER (VCO_2/VO_2)이 낮아진다[11]. 이러한 이유로 본 연구에서는 남성이 여성에 비해 RER이 낮은 경향을 보인 것으로 판단된다.

저항운동 후 혈중 대사반응에서 젖산을 제외한 글루코스와 유리지방산은 시기에 따른 주효과만 나타났다($p < .05$). 운동 직후 글루코스와 유리지방산 모두 여성이 높은 경향이 나타났으나 성별에 따른 주효과는 없었다. 이러한 결과는 기존의 선행연구들[3,6,28,29]과는 차이가 있는 것이다. 일반적으로 혈중 글루코스와 유리지방산의 농도는 탄수화물과 지방대사의 지표로 사용되는데 무산소 역치 이하의 최대 운동을 지속할수록 유리지방산의 농도는 높아지고 증가된 유리지방산의 영향으로 탄수화물의 사용은 줄어든다[30]. 본 연구에서는 저항운동이 처치되었고 남녀 모두 글루코스와 유리지방산이 운동 직후 증가하였다가 감소하였으나 여성의 경우, 회복기 30분과 60분 후에 더 크

게 감소하였다. 이러한 경향성의 차이는 성별 차이로 기인할 수도 있을 것으로 판단된다. 운동 중 에너지 선택에 있어서 남성과 여성이 차이가 있다는 것은 이미 잘 알려져 있다. 여성의 경우 높은 체지방률과 카테콜라민의 민감도가 높아 지방 산화를 통한 에너지 사용에 더 의존하는 반면 남성의 경우 여성에 비해 에너지 생성을 위해 탄수화물에 더 의존한다[28,31]. 그럼에도 불구하고 성별 차이가 없었던 이유는 아마도 본 연구에서의 저항운동 후 심박수와 RPE 등의 반응 결과를 토대로 유추해 볼 때, 남성은 여성에 비해 상대적으로 강도 높은 운동을 하였고 그 결과 여성의 지방 대사가 운동 직후 더 높은 경향이 나타났으나 회복기 30분과 60분에 더 크게 감소하였고, 이로 인하여 글루코스 사용률 역시도 통계적으로 유의하지는 않았으나 회복기 30분과 60분에 상대적으로 높은 경향을 보일 수 있었던 것으로 판단된다.

한편, 젖산의 경우는 유의한 상호작용효과가 나타났고, 이러한 효과는 남성의 경우 운동 직후 급격하게 증가한 젖산(6.0 mmol/L)이 회복 30분 후 약 58% 수준으로 급격하게 감소한 반면 여성은 운동 직후 증가한 젖산(4.44 mmol/L)의 감소폭(47%)이 적게 나타나는 패턴의 차이로 기인하였다. 이러한 차이는 아마도 본 연구에 참여한 남녀의 운동 강도의 차이, 근육량의 차이 및 성별 특성 등에서 기인할 수 있다. 즉, 운동강도의 증가에 따른 무산소해당작용의 증가는 당 분해 및 젖산 농도의 증가를 유발할 수 있기 때문에 본 연구에서의 성별 심박수 및 RPE의 반응을 고려할 때 남성이 여성에 비해 상대적 강도가 높았고 이로 인하여 여성에 비해 더 높은 젖산 수치를 보인 것으로 판단된다. 둘째, 한쪽다리를 이용한 근력 운동에 비해 양쪽다리를 이용한 근력 운동에서 젖산 농도는 더 크게 증가한다[32]. 즉, 젖산 농도의 증가는 근육량과 밀접한 관계가 있기 때문에 상대적 운동강도가 동일하더라도 여성에 비해 근육량이 많은 남성에게서 젖산의 농도가 더 높게 증가할 수 있다. 셋째, 젖산과 유리지방산은 모두 미토콘드리아의 기질로서 젖산은 지방산화와 역상환이 있다는 점[33]에서 운동 직후 남성에 비해 여성에게서 유리지방산의 농도 증가가 더욱 크게 나타났고, 이것이 여성에게서 운동 직후 젖산 농도가 상대적으로 적게 증가하였던 것으로 판단된다. 반면, 여성에 비해 남성에게서 회복기 동안 젖산 농도의 빠른 감소가 나타났는데, 이는 증가된 젖산이 주로 심장과 근육에서의 에너지원으로 산화된다는 점[34]에서 근육량이 많은 남성에게서 이러한 급격한 감소현상이 나타난 것으로 판단된다. 이러한 남녀의 패턴 차이가 유의한 상호작용효과를 유발한 것으로 판단된다.

3. 저항운동에 대한 호르몬의 반응

성장호르몬은 상호작용효과와 성별에 대한 차이를 보이지 않았으나 시기($p = .06$)에 따라 운동 직후 증가하였다가 회복 1시간까지 안정 시 수준 이하로 감소하였다. 코티솔은 상호작용효과뿐만 아니라 시기 및 성별에 대한 주효과 모두 유의한 차이가 없었다.

성장호르몬은 총 운동량이 많고 세트간 휴식 시간이 짧을 때 그리고 70-80% RM 강도의 저항운동 프로토콜에서 가장 크게 증가하는 것으로 보고되고 있다[35-38]. Krammer et al. [36]의 연구에서는 젊은 남성(30세)과 노인 남성(62세)을 대상으로 스쿼트를 포함한 8가지 종목의 운동을 각 10회 반복할 수 있는 무게(약 75% 1RM)로 4세트, 90초 간의 세트 간 휴식을 취하는 저항운동을 처치하였고, 트레이닝 처치 전과 후의 일회성 반응과 10주간의 장기간 트레이닝 처치 후의 호르몬 변화를 관찰하였다. 이 연구에 따르면, 성장호르몬은 10주간의 트레이닝 처치 전에는 운동 직후보다는 회복기 30분 후에 가장 크게 증가하였으나 10주간의 처치 후 일회성 반응은 회복기 30분보다 운동 직후에서 더 증가하는 것으로 보고되었다. 본 연구에 참여한 대상자들은 최소 6개월 이상 주당 2회 이상 조깅이나 근력운동에 참여하는 건강한 20대 남녀 대학생들로 어느 정도 트레이닝의 경험이 있는 대상자들로 Krammer et al. [36]의 10주간 훈련 후 일회성 반응의 결과를 보고한 대상자들의 특성과 유사하다. 반면에 Krammer et al. [36]의 연구에서는 코티솔의 경우, 휴식기 30분에서 유의하게 증가하였으나 본 연구에서는 유의한 차이가 나타나지 않아 상반되는 것이었다. 코티솔은 대표적인 스트레스성 호르몬으로[39] 유산소운동에 비해 근력운동 시 농도 증가가 더욱 크게 나타난다[40]. 남성과 여성 모두 고강도 저항운동으로 코티솔과 부신피질 자극 호르몬(ACTH: 부신피질에서 코티솔 방출을 자극하는 뇌하수체 호르몬)의 분비 자극이 증가하지만, 이러한 호르몬들의 증가 유무는 참여자의 훈련정도, 처치되는 세트 수와 운동량의 수준, 운동강도 및 세트 간 휴식시간에 따라 영향을 받는다[41,42]. 그 예로, McCauley et al. [43]의 연구에서는 젊은 남성(21.8 ± 1.9 세)을 대상으로 근비대집단(75% 1RM, 4세트, 10회 반복, 세트 간 90초 휴식), 근력집단(90% 1RM, 11세트, 3회 반복, 세트 간 5분 휴식), 파워집단(최대파워부하로 8세트, 6회 반복, 세트 간 3분 휴식) 및 통제집단 총 4개 집단으로 구분하여 일회성 back squat 운동을 처치한 후 코티솔의 변화를 관찰한 결과, 근비대집단을 제외하고 오히려 나머지 집단 모두 유의하게 감소한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 코티솔의 유의한 증가가 관찰되지 않았는데, 이는 기존의 연구들에서 수행한 세트 수, 강도 및 세트 간 휴식시간에서 차이가 있었기 때문인 것으로 판단된다. Krammer et al. [36]의 연구와 McCauley et al. [43] 연구의 근비대집단에서는 75% 1RM으로 4세트, 세트당 10회 반복, 세트 간 90초의 휴식을 취한 반면 본 연구에서는 65% 1RM으로 3세트, 세트당 10회 반복, 세트 간 105초의 휴식시간을 처치하였기에 실제 강도는 65% 1RM보다도 낮았고, 운동량에서도 기존의 연구들(4세트 vs. 3세트)보다 낮았을 것으로 예측된다. 이로 인하여 기존 연구와는 다르게 코티솔의 유의한 증가가 관찰되지는 않은 것으로 판단된다.

한편, 테스토스테론과 에스트라디올 모두 성별 차이만 존재할 뿐 상호작용효과와 시기 간의 주효과는 나타나지 않았다. 성호르몬의 성

별 차이는 기존의 연구들과 유사한 결과이나 일회성 처치 반응에 따른 호르몬 반응에서는 기존의 연구와 부분적으로 차이가 있었다. 20대 남녀를 대상으로 80% 1RM으로 3세트, 세트당 최대반복횟수, 2분 간의 세트 간 휴식시간을 처치한 Weiss et al. [6]의 연구에서는, 남성의 안정 시 테스토스테론 농도는 여성에 비해 약 10배 정도 높은 반면 일회성 근력운동 후 남성의 테스토스테론 농도는 급격히 증가했지만 여성은 증가하지 않았다. 또한 Krammer et al. [36]의 연구와 McCauley et al. [43] 연구의 근비대집단에서 실시한 75% 1RM으로 4세트, 세트당 10회 반복, 세트 간 90초의 휴식을 취한 연구들에서는 테스토스테론의 유의한 증가가 관찰되어 본 연구결과와는 상반되는 것이었다. 이러한 결과는 앞서 언급했듯이, 본 연구에서 처치한 운동강도(% 1RM과 세트 간 휴식시간)와 운동량(세트 수 및 반복횟수)에서의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. 여성호르몬인 에스트라디올은 일회성 및 장기간의 근력 운동에 대한 결과가 아직 불명확한 상태이며, 에스트라디올의 증가 유무는 생리주기와 밀접한 관련이 있다 [44]. Nakamura et al. [44]의 연구에 의하면, 20대의 여성을 대상으로 초기 여포기(배란 후 4-7일 사이)와 중기 여포기(배란 후 7-10일 사이)로 구분하여, 75-80% 1RM으로 3세트, 10회 반복 저항운동을 처치하였고, 동일한 운동처치에도 불구하고 초기 여포성기에서는 운동 직후, 회복기 30분 및 60분 모두 증가하지 않았으나 중기 여포기에서만 운동 직후 유의하게 증가하였다. 본 연구에서는 운동 직후 에스트라디올의 증가 경향이 나타났으나 통계적 차이는 나타나지 않았다. 이러한 결과 차이는 아마도 최소 두 가지 측면에서 차이가 있다. 첫째, 본 연구에서는 초기와 중기 여포기를 구분하지 않았다는 점. 둘째, 운동 처치 방법(운동강도, 운동량 등)의 차이로 기인할 수 있다는 점이다. 즉, Nakamura et al. [44]의 연구에서는 75-80% 1RM이라는 점에서 강도가 높고 3세트를 처치하였으나 세트마다 참여자가 10회 반복을 할 수 없을 경우, 보조자의 도움으로 반복횟수를 완성하게 하였다는 점이다. 따라서 저항운동 시 성호르몬의 증가로 인한 긍정적 건강혜택을 고려할 때 향후 연구에서는 65% 1RM 이상의 강도(예: 70-80% 1RM)에서 최소 3세트 이상을 실시하되 반복횟수는 최대반복횟수를 처치하는 것이 필요할 것으로 판단되며, 남녀의 성 호르몬의 유의한 증가를 위한 최소한의 운동강도(% 1RM 및 세트 간 휴식시간 등) 및 운동량(세트 수 및 반복횟수 등)에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로, 본 연구의 제한점으로는 참여 대상자의 표본 크기가 작아 성별에 따른 생리적 변인, 대사 및 호르몬의 변화를 정확하게 관찰하기에는 통계적 검정력이 낮았다. 따라서 향후 연구에서는 샘플 표본 크기를 최소 20명 이상으로 늘려서 진행하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

결론

여성의 상하체 절대근력은 각각 남성의 47.1%와 58.4%에 해당하였으나 근육량으로 나눈 상대근력 비교에서는 상하체 각각 남성의 75.3% ($p=.002$)와 89.1% ($p=.378$)에 해당하였다. 저항운동 후 RPE는 벤치프레스를 제외하고 랫풀다운, 암컬, 트라이셉스 익스텐션, 숄더 프레스 모두 남성이 여성에 비해 유의하게 높은 반면 하체운동인 스쿼트와 레그컬에서는 심박수와 운동자각도 모두 통계적 차이가 나타나지 않았다. 이는 남성에 비해 사용빈도가 낮은 상체의 경우, 최대근력 측정 시 여성에게서 낮게 측정될 가능성이 있음을 시사한다.

저항운동 후 성별 대사반응과 관련하여, EPOC와 RER 그리고 혈중 글루코스와 유리지방산 모두 성별 차이가 나타나지 않은 반면 젖산은 상호작용효과가 나타났다. 이러한 상호작용효과는 성별에 따른 근육량의 차이로 기인할 가능성이 높다. 하지만 남녀 모두 65% 1RM을 처치하였으나 여성이 남성에 비해 낮은 강도로 수행했을 가능성 역시 배제할 수 없다.

저항운동에 대한 호르몬 반응에서는 성장호르몬의 경우, 남녀 모두 운동 직후 증가하다 감소하였으나 코티솔에서는 유의한 증가나 감소가 나타나지 않았다. 반면, 테스토스테론과 에스트라디올은 모든 시기에서 성별에 따른 유의한 차이가 있었다. 결론적으로, 본 연구에서 처치한 일회성 저항운동(7가지 운동, 3세트, 65% 1RM의 강도에서 10회 반복, 세트 간 105초 휴식)은 성장호르몬의 분비와 인체대사(FFA, 글루코스 및 젖산 등)를 자극할 수 있으나 성호르몬의 분비를 자극하지 못하는 것으로 나타났다. 한편, 젖산은 저항운동에 대한 성별 차이가 존재할 수 있다. 저항운동 시 성장호르몬을 포함한 성호르몬의 증가로 인한 긍정적 건강혜택을 고려할 때 향후 연구에서는 65% 1RM 이상의 강도(예: 70-80% 1RM)에서 최소 3세트 이상을 실시하되 반복횟수는 최대반복횟수를 처치하는 것이 필요할 것으로 판단되며, 남녀의 성호르몬의 유의한 증가를 위한 최소한의 운동강도(% 1RM 및 세트 간 휴식시간 등) 및 운동량(세트 수 및 반복횟수 등)에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

REFERENCES

1. Kuczmarski RJ, Flegal KM, Campbell SM, Johnson CL. Increasing prevalence of overweight among US adults. The National Health and Nutrition Examination Surveys, 1960 to 1991. *JAMA*. 1994;272(3):205-11.
2. Kraemer WJ, Deschenes MR, Fleck SJ. Physiological adaptations to resistance exercise. Implications for athletic conditioning. *Sports Med* 1988;6(4):246-56.
3. Benini R, Prado Nunes PR, Orsatti CL, Barcelos LC, Orsatti FL. Effects of acute total body resistance exercise on hormonal and cytokines changes in men and women. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015;55(4):337-44.
4. Kraemer WJ, Dudley GA, Tesch PA, Gordon SE, Hather BM, et al. The influence of muscle action on the acute growth hormone response to resistance exercise and short-term detraining. *Growth Horm IGF Res*. 2001;11(2):75-83.
5. Luk HY, Kraemer WJ, Szivak TK, Flanagan SD, Hooper DR, et al. Acute resistance exercise stimulates sex-specific dimeric immunoreactive growth hormone responses. *Growth Horm IGF Res*. 2015;25(3):136-40.
6. Weiss LW, Cureton KJ, Thompson FN. Comparison of serum testosterone and androstenedione responses to weight lifting in men and women. *Eur J Appl Physiol*. 1983;50:413-9.
7. Drummond MJ, Vehrs PR, Schaalje GB, Parcell AC. Aerobic and resistance exercise sequence affects excess postexercise oxygen consumption. *J Strength Cond Res*. 2005;19(2):332-7.
8. Braun WA, Hawthorne WE, Markofski MM. Acute EPOC response in women to circuit training and treadmill exercise of matched oxygen consumption. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94(5-6):500-4.
9. Bursleson MA, O'Bryant HS, Stone MH, Collins MA, Triplett-McBride T. Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(4):518-22.
10. Gillette CA, Bullough RC, Melby CL. Postexercise energy expenditure in response to acute aerobic or resistive exercise. *Int J Sport Nutr*. 1994;4(4):347-60.
11. McArdle WD, Katch FI, Katech VL. Exercise Physiology, In energy, nutrition and human performance. 4th ed., Williams & Wilkins 1996.
12. Matsuo T, Saitoh S, Suzuki M. Effects of the menstrual cycle on excess postexercise oxygen consumption in healthy young women. *Metabolism* 1999;48(3):275-7.
13. Kraemer RR, Heleniak RJ, Tryniecki JL, Kraemer GR, Okazaki NJ, et al. Follicular and luteal phase hormonal responses to low-volume resistive exercise. *Med Sci Sports Exer*. 1995;27(6):809-17.

14. Jackson AS, Pollock ML. Practical assessment of body composition. *Phys Sportsmed*. 1985;13(5):76-90.
15. Earle RW. Weight training exercise prescription. Essentials of personal training symposium workbook. Lincoln, NE: SCA Certification Commission 1999.
16. Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol*. 2000;89:81-8.
17. Dreyer HC, Fujita S, Glynn EL, Drummond MJ, Volpi E, et al. Resistance exercise increases leg muscle protein synthesis and mTOR signalling independent of sex. *Acta Physiologica*. 2010;199:71-81.
18. Kadi F, Bonnerud P, Eriksson A, Thornell L. The expression of androgen receptors in human neck and limb muscles: effects of training and self-administration of androgenic-anabolic steroids. *Histochem Cell Biol*. 2000;113:25-9.
19. O'Hagan FT, Sale DG, MacDougall JD, Garner SH. Response to resistance training in young women and men. *Int J Sports Med*. 1995; 16:314-21.
20. Abe T, DeHoyos DV, Pollock ML, Garzarella L. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol*. 2000; 81:174-80.
21. Davies J, Parker DF, Rutherford OM, Jones DA. Changes in strength and cross sectional area of the elbow flexors as a result of isometric strength training. *Eur J Appl Physiol*. 1988;57:667-70.
22. Dorgo S, Edupuganti P, Smith DR, Ortiz M. Comparison of lower body specific resistance training on the hamstring to quadriceps strength ratios in men and women. *Res Q Exerc Sport*. 2012;83:143-51.
23. Alway SE, Grumbt WH, Gonyea WJ, Stray-Gundersen J. Contrasts in muscle and myofibers of elite male and female bodybuilders. *J Appl Physiol*. 1989;67(1):24-31.
24. Gentil P, Steele J, Pereira MC, Castanheira RP, Paoli A, et al. Comparison of upper body strength gains between men and women after 10 weeks of resistance training. *PeerJ*. 2016;4:e1627.
25. Schantz P, Randall-fox E, Hutchison W, Tydén A, Astrand P. Muscle fibre type distribution, muscle cross-sectional area and maximal voluntary strength in humans. *Acta Physiol Scand*. 1983;117:219-26.
26. Thornton MK, Potteiger JA. Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(4):715-22.
27. Berg KE. Comparison of energy expenditure in men and women at rest and during exercise recovery. *J Sports Med Phys Fitness*. 1991; 31(3):351-6.
28. Davis SN, Galassetti P, Wasserman DH, Tate D. Effects of gender on neuroendocrine and metabolic counterregulatory responses to exercise in normal man. *J Clin Endocrinol Metab*. 2000;85(1):224-30.
29. Horton TJ, Pagliassotti MJ, Hobbs K, Hill JO. Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J Appl Physiol*. 1998;85(5):1823-32.
30. Kim JS, Kim DY, Park DH. The effect of sequence of aerobic and resistance exercise on hormones and metabolism in males. *Exerc Sci*. 2015;24(1):13-20.
31. Brockman NK, Yardley JE. Sex-related differences in fuel utilization and hormonal response to exercise: implications for individuals with type 1 diabetes. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2018;43(6):541-52.
32. Jensen-Ustad M, Svedenhag J, Sahlin K. Effect of muscle mass on lactate formation during exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994;69(3):189-95.
33. San-Millán I, Brooks GA. Assessment of metabolic flexibility by means of measuring blood lactate, fat, and carbohydrate oxidation responses to exercise in professional endurance athletes and less-fit individuals. *Sports Med*. 2018;48(2):467-79.
34. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health 2010.
35. Bosco C, Colli R, Bonomi R, von Duvillard SP, Viru A. Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):202-8.
36. Kraemer WJ, Fleck SJ, Dziados JE, Harman EA, Marchitelli LJ, et al. Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol* 1993;75(2):594-604.
37. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, et al. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* 1990;69(4):1442-50.
38. Mulligan SE, Fleck SJ, Gordon SE, Koziris LP, Triplett-McBride NT, et al. Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *J Strength Cond Res*. 1996; 10(4):256-62.
39. Melessa C. Article and Resource, Cortisol, 2005; Retrieved from <http://stress.about.com>.
40. Consitt LA, Copeland JL, Tremblay MS. Hormone responses to resis-

- tance vs. endurance exercise in premenopausal females. *Can J Appl Physiol.* 2001;26(6):574-87.
41. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med.* 2005;35(4):339-61.
42. Kraemer WJ, Fleck SJ, Callister R, Shealy M, Dudley GA, et al. Training responses of plasma beta-endorphin, adrenocorticotropin, and cortisol. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21:146-53.
43. McCaulley GO, McBride JM, Cormie P, Hudson MB, Nuzzo JL, et al. Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2009; 105(5):695-704.
44. Nakamura Y, Aizawa K, Imai T, Kono I, Mesaki N. Hormonal responses to resistance exercise during different menstrual cycle states. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(6):967-73.