푸쉬업 운동의 근수축 속도가 반복횟수, 운동지속시간 및 근활성도에 미치는 영향

송상협¹⁾ · 이호성^{2)*}

1) 서원대학교 2) 단국대학교

ABSTRACT

Sang-hyup Song · Ho-seong Lee. Effects of Muscle Contraction Speed on Number of Repetitions, Exercise Duration and Muscle Activation during Push-up Exercise in Men. *KINESIOLOGY*, 2016, 18(1): 11-18. **[PURPOSE]** The purpose of this study was to examine the effects of muscle contraction speed on number of repetitions, exercise duration and muscle activation during push-up exercise in men. **[METHODS]** The study employed a randomized, counter-balanced crossover design with two testing sessions that were 3 months apart. Twelve, healthy, male collegiate students were asked to perform two exercises separately, normal-speed push-up (ECC: 1-s, CON: 1-s) and speedy-push-up (maximum speed), until repetition failure of volitional contraction. Outcomes were number of repetitions, exercise duration and muscle activation of the pectoralis major measured through surface electromyography (sEMG) during push-up exercises. The sEMG data were normalized to maximal voluntary isometric contraction (MVIC) and expressed as a percentage (%MVIC) in both ECC phase and CON phase. **[RESULTS]** Number of repetitions ($t=-5.352$, $p<.001$), exercise duration ($t=-5.837$, $p<.001$) and muscle activity ($t=-4.525$, $p=.023$) were significantly different between two exercise conditions. **[CONCLUSIONS]** Normal-speed push-up exercise increased exercise duration and muscular activity while, and speedy push-up exercise increased number of repetitions. Further studies are warranted to elucidate associations between muscle adaptation stimulus and muscle contraction speed.

Key words : push-up exercise, muscle contraction speed, number of repetitions, exercise duration, muscle activation

주요어 : 푸쉬업 운동, 근수축 속도, 반복횟수, 운동지속시간, 근활성도

서론

건강의 중요성이 대두됨에 따라 사람들은 일상생활 속에서 수행할 수 있는 운동, 즉 과거에는 복잡하고 어려운 운동에서 점차로 간편하고 손쉽게 할 수 있는 운동 방법들을 선호하고 있으며, 그 중에서 푸쉬업 운동(push-up exercise)은 특별한 장비 없이 자신의 체중을 이용한 대표적인 운동 방법이다(Gouvali et al., 2005).

푸쉬업 운동과 같이 자기 체중을 이용한 체중부하 운동(weight bearing exercise)은 다양한 방법을 통하여 운동 강도의 조절이 가능하고, 운동 강도는 한 번 수행에 가해지는 저항 혹은 중량을 의미하며 개인의 트레이닝 상태와 운동 목표에 따라 달라진다고 생각된다. 또한 운동순서, 운동량, 운동 빈도, 근수축 형태 및 속도, 그리고 휴식시간 등의 요인에 의해서도 영향

을 받을 수 있다고 보고하였다(Kraemer et al., 2000). 특히, 근수축 속도는 특별한 조치 없이 가장 간편하게 운동의 강도를 조절할 수 있는 방법 중 하나이다.

일반적으로, 근수축 속도는 무산소성 기계적 에너지의 출력 및 ATP-PC 에너지의 효율화에 따라 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Luis & Juan (2011)과 Watanabe et al.(2015)의 연구에 의하면, 장비를 이용한 저속 운동(신장성수축 3초, 단축성수축 3초, 수축간 휴식 1초)과 일반적인 속도 운동(신장성수축 1초, 단축성수축 1초)을 비교한 결과, 저속 운동이 일반적인 속도 운동과 비교해서 근력과 근비대 향상에 효과가 있었다고 보고하면서 근수축 속도에 따라 근육적응 자극(muscle adaptation stimulus)이 변화한다고 추측하였다. 하지만, 장비를 이용하지 않고 자기 체중을 이용한 체중부하운동, 즉 푸쉬업 운동의 근수축 속도

* 교신저자: hoseh28@dankook.ac.kr

의 차이가 근력 및 근지구력에 미치는 영향을 보고한 연구는 부족한 실정이다.

통상, 근수축 속도는 단축성수축이 매우 중요한 역할을 하며, 이러한 수동적으로 신전되는 상태 직후에 단축성수축이 뒤따르는 현상을 신전-단축주기(stretch-shortening cycle: SSC)라고 알려져 있다(Ingen Schenau et al., 1997). SSC의 적용여부는 반복횟수 및 운동량에 매우 밀접한 관련성이 있으며, 최근 수행한 연구에 따르면, 다양한 푸쉬업 운동 시 신장성수축(eccentric contraction: ECC) 구간과 단축성수축(concentric contraction: CON) 구간으로 구분하여 각 구간의 근활성도를 비교한 결과, 단축성수축 구간이 신장성수축 구간과 비교해서 근활성이 높았다고 보고 하면서 SSC를 지지하는 결과를 제시하였다(Song & Lee, 2015). 따라서 이 연구에서는 단축성수축 속도의 차이(maximum speed vs. ECC: 1-s, CON: 1-s), 즉 푸쉬업 운동의 근수축 속도가 반복횟수, 운동지속시간 및 근활성도에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

일반적으로 스포츠현장에서는 저항운동 시 근기능 향상을 위해 운동량이 매우 중요하며, 운동량은 총 반복횟수와 부하량, 그리고 세트 수로 예측한다고 알려져 있다(Fleck & Kraemer, 1997). 그러나 실제로 저항운동 시 동일한 운동량(총 반복횟수, 부하량 및 세트 수)을 수행하여도 근수축 속도의 차이에 따라 반복횟수는 다르게 나타나며, 또한 반복횟수의 차이는 근육의 운동지속시간 및 운동 시 발생하는 근활성에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

이에 이 연구에서는 건강한 남자 대학생을 대상으로 푸쉬업 운동의 근수축 속도가 반복횟수, 운동지속시간 및 근활성도에 미치는 영향을 밝히려는데 그 목적이 있다.

연구방법

연구대상

이 연구에서는 대학교에 재학 중인 20대 건강한 남자로서 저항운동 경력이 3개월 미만의 피험자 12명을

대상으로 하였다. 이들은 본 실험 이전에 이 연구의 의의, 내용 및 방법에 관한 설명을 듣고 자발적으로 실험에 참여할 의사를 밝혔으며 실험동의서에 서명하였다. 피험자들은 실험이 최대한 안정된 상태에서 이루어질 수 있도록 실험 48시간 전 과도한 신체활동을 자제하도록 하였고, 실험 전날 충분한 수면을 취하도록 하였다. 피험자들의 신체적 특성은 <Table 1>에서 보는 바와 같다.

Table 1. Physical characteristic of subjects (M±SD)

N	Height (cm)	Weight (kg)	Muscle Mass (kg)	Fat (%)
12	177.3±5.7	73.8±3.9	32.6±4.1	18.1±4.7

실험 설계

모든 피험자는 무선헌당을 이용한 교차설계 방식으로 3개월간의 간격을 두고 일반적인 푸쉬업 운동(normal push-up exercise; NOR)과 스피드 푸쉬업 운동(speed push-up exercise; SPE)을 각각 실시하였다. 사전검사는 피험자의 신장, 체중, 근육량 및 체지방률을 측정하기 위해 체성분 검사(Inbody 770, Korea)를 실시하였으며, 각 피험자의 최대정적수축(maximum voluntary isometric contraction: MVIC)은 큰가슴근(pectoralis major)을 측정하였다. 모든 피험자는 큰가슴근의 스트레칭 등의 준비운동을 실시한 후에 푸쉬업 운동 방법의 자세를 숙지하고 실험에 참가하였다.

근전도 측정

근활성도를 측정하기 위하여 8채널 무선 표면 근전도계(Wireless EMG System, Trigno Wireless, Delsys, USA)를 이용하여 큰가슴근의 근활성도를 시간에 따라 근전도 파형을 1024Hz의 샘플링 주파수(sampling frequency)로 채취하였다. 표면전극은 rawEMG 파형을 푸쉬업 운동 전체 반복횟수 동안 RMS(root mean square) 값으로 도출한 후 근전도 신호는 각 근육의 최대 등척성 수축 값으로 나눈 후에 백분율로 표시한 %MVIC 값으로 도출하여 근활성도를 정량화하였으며(Ekstrom et al., 2003), 근전도 신호의 노이즈를 최소

화하기 위하여 상체의 옷을 탈의한 상태에서 표면근전도 부착부위에 피부저항의 감소를 위해 의료용 알코올 솜으로 피부 각질층을 제거하고 깨끗이 닦아낸 후 표면전극을 부착하였다. 표면전극은 SENIAM (Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscle)에서 제안하는 권고사항에 따라 큰가슴근은 흉골과 전방액와 사이의 중간 지점에 부착하였다 (Hermens et al., 2000). 큰가슴근의 최대정적수축 (MVIC) 측정을 위해 스미스 머신을 이용하여 벤치에 누워 팔꿈치 각도를 90°로 유지한 후에 팔꿈치를 최대한 신전시키기 위한 힘을 발휘하여 3초 동안 측정하였으며, 2회 측정하여 최대값을 최대정적수축 값으로 선정하였다.

푸쉬업 운동

푸쉬업 운동은 일반적인 푸쉬업 운동과 스피드 푸쉬업 운동의 2가지 방법으로 실시하였으며, 각 운동은 1세트 동안 최대반복 횟수까지 시도하였다. 일반적인 푸쉬업 운동은 1초의 ECC와 1초의 CON 속도를 적용하여 1회 반복에 총 2초의 시간을 주고 종료시점은 동일한 속도를 유지하지 못하였을 때를 기준으로 하며, 이를 확인하기 위하여 메트로놈을 사용하였다. 준비 자세는 피험자의 손을 어깨넓이보다 조금 넓게 유지하고 어깨와 손목이 수직으로 된 상태에서 어깨, 힙, 무릎 및 발목이 일직선이 되도록 유지하였으며, 상체가 바닥으로 내려가는 ECC의 마지막 구간에서 팔꿈치 각도가 90°가 되도록 자세를 유지하였다. 스피드 푸쉬업 운동은 개인의 능력에 따라 가장 빠른 스피드로 실시하였고, 종료시점은 일반적인 푸쉬업 운동과 동일하게 1초의 ECC와 1초의 CON 속도를 적용하여 1회 반복에 총 2초의 시간을 유지하지 못하였을 때를 기준으로 하였다.

자료처리

모든 자료는 SPSS-WIN Ver 18.0을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 운동간 반복횟수, 지속시간 및 평균 MVIC는 대응표본 t검정을 각각 실시하였고, 반복횟수 별 평균 MVIC는 일반적인 푸쉬업(31개)

과 스피드 푸쉬업(51개)의 운동 및 반복횟수에 따라 이원배치 분산분석(two-way measures ANOVA)을 실시하였다. 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

결과

반복횟수 및 운동지속시간

반복횟수는 <Figure 1>에 제시한 바와 같으며, 반복횟수는 스피드 푸쉬업 운동(51.23 ± 6.3)이 일반적인 푸쉬업 운동(31.6 ± 3.4)과 비교하여 유의하게 높은 것으로 나타났다($t = -5.352, p = .000$). 또한, 운동지속시간은 <Figure 2>에 제시한 바와 같으며, 운동지속시간은 일반적인 푸쉬업 운동(67.3 ± 7.1)이 스피드 푸쉬업 운동(39.8 ± 7.9)과 비교하여 유의하게 높은 것으로 나타났다($t = -5.837, p = .000$).

Figure 1. Changes in number of repetitions between NOR and SPE during push-up exercise. ** $p < .01$

Figure 2. Changes in exercise duration between NOR and SPE during push-up exercise. ** $p < .01$

근활성도

큰가슴근의 평균 MVIC와 종료시점까지의 반복횟수 별 평균 MVIC는 <Figure 3>과 <Figure 4>에 제시한 바와 같으며, 큰가슴근의 평균 MVIC는 일반적인 푸쉬업 운동이 스피드 푸쉬업 운동과 비교하여 유의하게 높은 것으로 나타났다($t=4.525$, $p=.023$). 또한, 반복횟수 별 MVIC는 일반적인 푸쉬업 운동과 스피드 푸쉬업 운동 간에 유의한 상호작용 효과가 나타났다($F=10.751$, $p=.001$). 다시 말해, 일반적인 푸쉬업 운동에서 종료시점까지의 반복횟수 별 평균 MVIC는 반복횟수가 증가할수록 근활성도가 증가하는 것으로 나타났으나, 스피드 푸쉬업 운동에서 종료시점까지의 반복횟수 별 평균 MVIC는 변화하지 않는 것으로 나타났다.

Figure 3. Changes in mean MVIC between NOR and SPE during push-up exercise. * $p<.05$

논의

이 연구에서 운동지속시간 및 근활성도는 스피드 푸쉬업 운동과 비교해서 일반적인 푸쉬업 운동이 높게 나타났으며, 반복횟수는 일반적인 푸쉬업 운동과 비교해서 스피드 푸쉬업 운동이 높게 나타났다. Newton et al.(1996)은 근수축 속도가 빠를수록 주어진 부하에 대한 운동단위(motor unit)는 더 많이 동원된다고 보고하였고, 근수축 속도는 근육의 수축과 이완의 힘과 조정력, 즉 근육의 수축과 이완사이에 신경 지배(innervation)와 밀접하게 관련되어 있다고 하였다(Guilhem et al., 2010). 결과적으로, 근수축 속도의

차이는 신장-단축주기(SSC)의 효율적인 적용 여부에 따라 근육의 발현 정도에 차이가 있다고 생각된다. 선행연구에 의하면, 단독적인 신장성수축 및 단축성수축과 비교해서 SSC는 보다 단시간에 큰 근력을 발휘한다고 보고하였다(Friden et al., 2001; Shultz et al., 2004). 이 연구에서 일반적인 푸쉬업 운동의 운동시간은 신장성수축 1초와 단축성수축 1초의 제한된 조건으로 인하여 신장성수축 직후에 단축성수축이 즉시 반응하지 않았기 때문에 신장반사의 상승작용이 스피드 푸쉬업 운동보다 발현되지 않았다고 생각된다. 구체적으로, 스피드 푸쉬업 운동과 비교해서 일반적인 푸쉬업 운동은 신장성수축 및 단축성수축의 운동단계가 보다 늦기 때문에 저장된 에너지가 불필요하게 소비되고 열로 발산되어 SSC의 효과가 적었던 것으로 생각된다. 이와는 반대로, 스피드 푸쉬업 운동은 SSC를 효율적으로 사용하였기 때문에 반복횟수가 보다 높게 나타났다고 생각된다. 이 연구에서 일반적인 푸쉬업 운동과 비교해서 스피드 푸쉬업 운동의 근활성도는 낮게 나타났다. 이러한 결과는 빠른 속도의 운동이 근육의 강한 수축을 위한 운동단위 보충에 필요한 시간을 충족시키지 못하고(Sale, 1987), 근수축 속도가 증가함에 따라 수축 근섬유 수의 감소와 근피로의 증가(Lamb, 2009)로 결과적으로 근활성도가 낮게 나타난 것으로 생각된다. 이러한 근거는 Figure 4에서 제시한 것처럼, 일반적인 푸쉬업 운동은 반복횟수가 증가할수록 근활성도가 높게 나타났기 때문에 스피드 푸쉬업 운동과 비교해서 반복횟수는 낮게 나타났다. 반면에 스피드 푸쉬업 운동은 반복횟수가 증가하여도 근활성도의 변화가 적게 나타났기 때문에 일반적인 푸쉬업 운동과 비교해서 반복횟수는 높게 나타났다.

한편, 이 연구에서 일반적인 푸쉬업 운동은 스피드 푸쉬업 운동과 비교해서 운동지속시간 및 근활성도가 높게 나타났다. Keeler et al.(2001)은 주 1회, 10회 1세트의 초저속 속도운동(CON: 10초, ECC: 5초)와 저속 속도운동(CON: 2초, ECC: 4초)을 10주간의 걸쳐서 실시한 결과, 근력은 초저속 속도운동과 비교해서 저속 속도운동이 약 30%정도의 증가율을 보였다고 보고하였다. Munn et al.(2005)은 비훈련자를 대상으로 근력은 저속 속도운동(CON: 3초, ECC: 3초)과 비교해서 일반적인 속도운동(CON: 1초, ECC: 1초)이 약 11%정

Figure 4. Changes in mean MVIC on number of repetitions to volitional repetition failure between NOR and SPE during push-up exercise

도가 높게 나타났다고 보고하였다. 또한 Linnamo et al.(2005)은 훈련자를 대상으로 벤치프레스(7.9%)와 벤치풀(5.5%)의 근력은 저속 속도운동(CON: 1.7초, ECC: 1.7초)과 비교해서 고속 속도운동(CON: 0.8초 이하, ECC: 1.75초 이하)이 높게 나타났다고 보고하였다. 반면에, Tanimoto et al.(2008)은 비훈련자를 대상으로 근육량과 근력은 고강도(1RM 80-90%)와 비교해서 저강도(1RM 50-60%)저속 속도운동(CON: 3초, ECC: 3초, ISO: 1초)이 높게 나타났다고 보고하였다. Watanabe et al.(2014)은 노인을 대상으로 근육량과 근력은 일반적인 속도운동(CON: 1초, ECC: 1초)과 비교해서 저속 속도운동(CON: 3초, ECC: 3초, ISO: 1초)이 높게 나타났다고 보고하였다. 이와 같이 근수축 속도와 근력 및 근육량과의 관련성은 일치한 견해를 얻어내지 못하고 있다. 이 연구에서는 스피드 푸쉬업 운동과 비교해서 일반적인 푸쉬업 운동이 운동지속시간 및 근활성도가 높게 나타났다. 일반적인 푸쉬업 운동은 장력(tension)이 근육에 전달되는 시간을 증가시켜 근력이 높게 나타날 가능성이 있다고 추측되어진다. 선행연구에 의하면, 장력은 근력을 향상시키는데 중요한 역할을 한다고 보고되어 있다(Schoenfeld, 2010). 하지만 이 연구의 결과만으로는 근수축 속도의 차이와 근육적응자극(근력, 근지구력 등)과의 관련성에 대해서는 명확히 밝힐 수는 없다. 향후에는 운동순서, 운동량, 운동 빈도, 근수축 형태, 그리고 휴식시간 등의 요인이 근육적응자극에 미치는 영향에 대해 보다 상세히 검증할 필요가 있다고 생각된다. 아울러 ACSM(2009)에 의하면, 저항운동 시 근력과 근비대를 향상시키기 위해서 초급

자는 저속 및 중속 속도운동을, 중급자는 중속 속도운동을, 그리고 상급자는 고부하 저속부터 고속으로 구성되어 있는 속도운동을 권장하고 있다. 따라서 푸쉬업 운동의 근수축 속도가 연령별, 성별 및 운동경력에 따른 근육적응자극에 미치는 영향에 대해서도 향후 검토가 필요하다.

결론

운동지속시간 및 근활성도는 스피드 푸쉬업 운동과 비교해서 일반적인 푸쉬업 운동이 높게 나타났으며, 반면에 반복횟수는 일반적인 푸쉬업 운동과 비교해서 스피드 푸쉬업 운동이 높게 나타났다. 이 연구에서는 푸쉬업 운동의 2가지 근수축 속도로 한정하여 연구를 수행 하였으나 향후에는 운동방법과 근수축 속도를 세분화 하여 연구할 필요가 있으며 특히, 성별과 연령에 따른 비교연구가 보완되어 운동 강도의 다양한 변인과 근육적응자극과의 관련성에 대해서 보다 상세히 밝힐 필요가 있다고 생각된다.

참고문헌

American College of Sports Medicine (2009). Position Stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41: 687-708.

- Asmussen, E., and F. Bonde-Peterson (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica*, 91: 385-392.
- Carlett, E. M., Manenica, I, and Goillan, P. J. (1985). The relationship between EMG activity of the sacrospinalis and reported back discomfort. *European Journal of Applied Physiology*, 5: 213-222.
- Cavagna, G.A., B. F.P. Saibere, and R. Margaria (1965). Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *Journal of Applied Physiology*, 20: 157-158.
- Deeler, L. K., Finkelstein, L. H., Miller, W., and Fernhall, B. (2001). Early-phase adaptations of traditional-speed vs. superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *Journal of strength & conditioning research*, 15: 309-314.
- Ekstrom, R. A., Donatelli, R. A., and Soderberg, G. L. (2003). Surface electromyographic analysis of exercises for the trapezius and serratus anterior muscles. *Journal of orthopedic & Sports Physical Therapy*, 33(5): 247-58.
- Fridén T, Roberts D, Ageberg E, Waldén M, and Zätterström R. (2001). Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 31(10): 567-76.
- Gouvali, M. K., and Boudolos, K. (2005). Dynamic and electromyographical analysis in variants of push-up exercise. *Journal of strength & conditioning research*, 19(1): 146-51.
- Guilhem G, Cornu C, and Guével A. (2010). Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 53(5): 319-41
- Guyton, A. C., and Hall, J. E. (1995). *Textbook of Medical Physiology*, 9th ed. Philadelphia: Saunders.
- Hatfield, D. L., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Häkkinen, K., Volek, J. S., Shimano, T., Spreuwenberg, L. P., Silvestre, R., Vingren, J. L., Fragala, M. S., Gómez, A. L., Fleck, S. J., Newton, R. U., and Maresh, C. M. (2006). The impact of velocity of movement on performance factors in resistance exercise. *Journal of strength & conditioning research*, 20: 760-766.
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5): 361-74.
- Hill, A. V. (1970). *First and Last Experiments in Muscle Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ingen Schenau, G. J., Van, Bobbert, M.F., and Haan, A. de. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle?. *Journal of Applied Biomechanics*, 13: 389-415.
- Keeler, L. K., Finkelstein, L. H., Miller, W., and Fernhall, B. (2001). Early-phase adaptations of traditional-speed vs. superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *Journal of strength & conditioning research*, 15: 309-314.
- Keogh Wilson GJ, and Weatherby RP (1999). A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *Journal of strength & conditioning research*, 13: 247-258.
- Kraemer, W. J., N. Ratamess, A. C. Fry. (2000). Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in college women tennis players. *American Journal of Sports Medicine*, 28: 626-633.

- Kraemer, W. J., and Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36: 674-678.
- Lam, G. D. (2009). Mechanisms of excitation-contraction uncoupling relevant to activity-induced muscle fatigue. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 34(3): 368-372.
- Linnamo, V., Pakarinen, A., Komi, P. V., Kraemer W. J., and Häkkinen, K. (2005). Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *Journal of strength & conditioning research*, 19: 566-571.
- Luis, S. N., and Juan G. L. (2011). Velocity Loss as an Indicator of Neuromuscular Fatigue during Resistance. Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9): 1725-1734.
- Munn, J., Herbert, R. D., Hancock, M. J., and Gandevia, S. C., (2005). Resistance training for strength: effect of number of sets and contraction speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37: 1622-1626.
- Matthews, P. B. C. (1990). The knee jerk: Still an enigma? *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 68: 347-354.
- Newton, R. U., Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Humphries, B. J., and Murphy, A. J. (1996) Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *Journal of Applied Biomechanics*, 12: 31-43.
- Qi, L., Wakeling J. M., and Ferguson-Pell, M. (2011). Spectral properties of electromyographic and mechanomyographic signals during dynamic concentric and eccentric contractions of the human biceps brachii muscle. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 21(6): 1056-63.
- Sale, D. G. (1987). Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 15: 95-151.
- Schoenfeld BJ. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of strength & conditioning research*, 24(10): 2857-72.
- Seo, S. H., Jeon I. H., Cho, Y. H., Lee, H. G., Hwang, Y. T., and Jang, J. H. (2013). Surface EMG during the push-up plus exercise on a stable support or swiss ball: Scapular stabilizer muscle exercise. *Journal of physical therapy science*, 25: 833-837.
- Song, S. H., and Lee, H. S. (2015). Muscular Activities During Normal, Speed, and Jump Based Push Up Exercise. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 62: 825-832.
- Shultz SJ, Carcia CR, and Perrin DH. (2004). Knee joint laxity affects muscle activation patterns in the healthy knee. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(4): 475-83.
- Steben, R. B., and A. H Steben. (1981). The validity of the stretch shortening cycle in selected jumping events. *Journal of Sports Medicine*, 21: 28-37.
- Tanimoto, M., Sanada, K., Yamamoto, K., Kawano, H., Gando, Y., Tabata, I., Ishii, N., and Miyachi, M. (2008). Effects of whole-body low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation on muscular size and strength in young men. *Journal of strength & conditioning research*, 22: 1926-1938.
- Tesch, P. A., Dudley, G. A., Duvoisin, M. R., Hather, B.M., & Harris, R.T. (1990). Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric muscle actions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 138: 263-271.
- Tran, Q. T., Docherty D., Behm D. (2006). The effects of varying time under tension and volume load on acute neuromuscular responses.

- European Journal of Applied Physiology*, 98: 402-410.
- Tucker, W. S., Armstrong, C. W., Gribble, P. A., Timmons, M. K., and Yeasting, R. A. (2010). Scapular muscle activity in overhead athletes with symptoms of secondary shoulder impingement during closed chain exercises. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91: 550-556.
- Vossen, J. F., Kramer, J. E., Burke, D. G., and Vossen, D. P. (2000). Comparison of dynamic push-up training and plyometric push-up training on upper-body power and strength. *Journal of strength & conditioning research*, 14(3): 248-253.
- Watanabe, Y., Madarame, H., Ogasawara R., Nakazato, K, and Ishii, N. (2014). Effect of very low-intensity resistance training with slow movement on muscle size and strength in healthy older adults. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34: 463-470.
- Watanabe, Y., Tanimoto, M., Oba, N., Sanada, K., Miyachi, M., and Ishii, N. (2015). Effect of resistance training using bodyweight in the elderly: Comparison of resistance exercise movement between slow and normal speed movement. *Geriatrics and gerontology international*, 15(12): 1270-1277.
- Youdas, J. W., Budach, B. D., Ellerbusch, J. V., Stucky, C. M., Wait, K. R., and Hollman, J. H. (2010). Comparison of muscle-activation patterns during the conventional push-up and perfect pushup exercises, *Journal of strength & conditioning research*. 24: 3352-3362.
- Zatsiorsky, V. M., and Kraemer, W. J. (2006) *Science and Practice of Strength Training, 2nd Edition*. Human Kinetics, Champaign, IL.