1-RM 추정 문헌 고찰 및 향후 연구 제언

이병근

상명대학교 사회체육학과

Review of the Research of 1-RM Prediction and Suggestion for Future Study

Byung-Kun Lee

Department of Lifetime Sports & Leisure, SangMyung University, Cheonan, Korea

PURPOSE: The purpose of this study were to categorize the type of previous 1-RM prediction studies, to review the research direction and limitation, and to suggest for the future studies.

METHODS: The studies of 1-RM prediction were categorized depend on 4 type, and analyzed research process and main results. Research review was summarized, and suggested several direction.

RESULTS: The 1-RM research was progressed 1-RM prediction based submaximal weight and repetition, 1-RM prediction include anthropometry variables, 1-RM prediction using various device, and studies on special groups. There were following the suggestion for the future studies. The various prediction methods need to be classify based on gender, training level, aging, training movement, and measurement device, and to be suggest the possibility and limitation. The improvement of explanation would be examine the effects submaximal variable based on anthropometry methods. The methods using RPE and cognition intensity be require for convenient aspects. The electrical device studies using accelerometer, smart phone, wearable device would be promising area.

CONCLUSIONS: 1-RM prediction studies has been processed related with convenience and usefulness. Meaning research would be reported based on these suggestion.

Key words: 1-RM, Prediction, Anthropometry, Cognition intensity, Suggestion

서론

1 repeated maximum (1-RM)은 근력 측정에 가장 일반적으로 사용되며 최대 관절 가동 강도 범위에 걸쳐 성공적으로 들 수 있는 최고의 중량을 의미한다. 1-RM은 웨이트 트레이닝에서 운동강도와 운동량 설정에 유용한 지표이다. 1-RM은 정확한 측정을 위해서는 직접 측정법을 사용해야 한다. 그러나 1-RM 직접 측정을 위해서는 많은 시간이 필요하며, 측정 중에 부상의 위험성이 잠재하고 있다[1]. 특히 초보자의 경우에는 위험성이 높으며 고중량에 대한 심적 부담으로 과소평가되기도 한다[2]. 그래서 많은 운동참여자들은 정확한 1-RM의 측정 없이 스스로 강도를 결정하고 있다[3].

따라서 1-RM을 간접 추정하는 다양한 연구들이 보고되고 있다. 1-RM 추정을 위한 연구는 일반적으로 최대하 중량과 이를 피로까지 지속하는 반복횟수를 이용하여 추정하는 연구들이 많이 보고되고 있다[4,5]. 그리고 최대하 중량 방법에 인체측정학적 요소를 추가하거나 인체측정학적 자료만을 이용하여 추정의 정확성을 개선하려는 연구들이 진행되어 왔다[6,7]. 측정의 간편성과 다양성 측면에서 운동자각도나 인지강도를 이용하여 추정하는 방법들도 보고되고 있다[8,9]. 특정 동작의 1-RM을 이용하여 다른 동작의 1-RM을 추정하는 연구도 보고되고 있다[10]. 과학기술의 발달 등에 따라 가속도계를 이용하여 바벨과 손목의 가속도 변화를 측정하여 추정하는 방법들도 시도되고 있다[11]. 많은 연구들이 일반인 남녀를 대상으로 추정식을 보고하고 있

Corresponding author: Byung-Kun Lee Tel +82-41-550-5437 Fax +82-41-550-5339 E-mail bklee@smu.ac.kr

*본 논문은 2015년 상명대학교 교내선발과제 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

Keywords 1-RM, 추정, 인체측정학적 요소, 인지강도, 제언

Received 22 Jul 2016 **Revised** 31 Aug 2016 **Accepted** 20 Oct 2016

© 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.

지만 운동의 필요성이 더 요구되는 장애인이나 당뇨병 환자 등을 대상으로 한 연구들도 일부 보고되고 있다[12].

최대근력 추정에 대한 연구는 최대하 중량과 반복횟수, 인체측정학적 요소, 인지강도, 특정동작 및 전자기구 이용 등의 5가지 추정 유형 별로 진행되고 있다. 이러한 연구들의 유형과 진행 과정 등을 확인하고 추정법들의 과학적인 정확한 특성을 파악할 필요가 있겠다. 1-RM 추정을 위해 웨이트 트레이닝 동작 선정과 정확한 측정 자세, 대상자의 성별과 연령, 트레이닝 수준, 장애나 질병 상태 등에 따라 적절한 방법을 선정하기 위해 정보를 고찰할 필요가 있다. 이에 본 연구의 목적은 1-RM 추정 선행 연구를 연구 방법에 따른 유형을 분류하고, 유형별 연구 방향, 특성 및 제한점 등을 고찰하여 향후 관련 연구를 위한 제언을 하는 데 있다.

본 론

1-RM 추정을 위한 연구는 일반적으로 최대하 중량과 반복횟수를 이용한 1-RM 추정, 인체측정학적 요소를 이용한 1-RM 추정, 다양한 방법을 이용한 1-RM 추정 및 특수집단의 1-RM 추정을 중심으로 진행되어 왔으며 이를 Table 1에 정리하였다.

1. 연구방법

본 연구의 외국 문헌은 Science Direct 검색 엔진에 1-RM prediction 을 key word로 하여 추출된 412개이다. 국내 문헌은 한국교육학술정보원(www.riss.kr)에서 1-RM 추정을 key word로 하여 추출된 47개이다. 이들 참고문헌 중에서 최대근력 추정과 관련성이 높고 향후 연구 제안에 적합한 연구를 대상으로 하였다.

2. 최대하 중량과 반복횟수를 이용한 1-RM 추정

최대하 중량과 반복횟수(repetitions-to-fatigue methods, RTP)를 이용한 1-RM 추정 연구는 최대하 중량, 반복횟수, 7-10RM 중량, NFL-225 Test 등을 중심으로 진행되어 왔다.

최대하 중량과 반복횟수 이용 연구는 최대근력과 최대하 중량 및 반복횟수의 관계를 중심으로 진행되어 왔다. Fleck et al. [13]은 1-RM의 백분율과 수행할 수 있는 반복횟수 간에는 상관관계가 존재한다고 하였다. 1-RM은 100% 1-RM, 4-RM은 90% 1-RM, 8-RM은 80% 1-RM, 12-RM은 70% 1-RM로 선형관계가 나타나나, 강도가 다소 낮은 수준인 60% 1-RM의 경우에는 반복횟수가 15-20RM으로 상대적으로 큰 편차를 보고하였다. Hoeger et al. [14]은 1-RM의 백분율과 반복횟수 사이에는 유의한 상관($p < .0001$)이 존재한다고 하였고, 동원된 근육군과 수행한 동작에 따라 1-RM에도 영향을 미친다고 하였다.

Chapman et al. [15]은 반복횟수가 10회 이하인 고강도가 10회 이상

인 저강도보다 1-RM을 정확하게 추정한다고 하였다. Reynolds et al. [16]은 10-20RM보다 고강도인 5-RM이 1-RM을 정확하게 추정한다고 하였다. Dohoney et al. [17]도 7-10RM보다 고강도인 4-6 RM이 1-RM 추정의 정확도가 높게 나타났다고 하였다. Morales et al. [18]은 2-10 RM 중에서 고강도인 2-RM이 1-RM을 가장 정확하게 추정한다고 하였다.

Lee et al. [19]은 20대 남성을 대상으로 하여 1-RM과 7-10RM의 상관 계수가 bench press는 0.946, lat pull down는 0.747로 높게 나타났으며, 7-10RM 및 반복횟수 조합방식으로 양호한 추정식을 산출할 수 있다고 하였다. Yoon et al. [20]은 레슬링 선수를 대상으로 하여도 7-10RM 방식으로 bench press와 squat의 1-RM과 $r = .91-.92$, $r = .84-.85$ 의 높은 상관이 나타난다고 보고하였다. Hetzler et al. [21]은 National Collegiate Athletic Association (NCAA)의 Division IA 수준의 대학 미식축구 선수들을 대상으로 하여 NFL-225 Test 결과로 1-RM을 추정하여 설명력이 87%로 매우 높게 나타났다고 하였다.

많은 연구들이 최대하 중량의 반복횟수를 이용하여 0.7-0.95 정도로 1-RM을 추정할 수 있으며, 1-RM에 근접할수록 추정의 정확도가 증가하는 경향으로 나타나고 있다. 측정의 간편성과 타당도를 고려하면 10-RM 이내의 수행을 통해 1-RM을 추정하는 것이 권장된다고 하겠다. 측정 과정 중 안전성과 부상 등의 위험성을 고려하면 7-10RM 중량을 이용하는 방법도 권장된다고 하겠다.

Knutzen et al. [34]는 고령자를 대상으로 하여 반복횟수를 이용한 방법인 Brzycki [4], Epley [5], Lander [24], Mayhew et al. [35], O'Conner et al. [25] 및 Wathan [27]의 6개 추정식의 타당도를 검증한 결과 Brzycki [4] 방법이 가장 정확하였다고 하였다. Cummings et al. [36]은 Brzycki [4], Epley [5], Lander [24]의 3가지 추정식 중 비훈련 여성에게는 Epley [5] 방법이 가장 정확하였다고 하였다. LeSure et al. [37]은 남녀 대학생의 squat 동작 10회 미만의 반복횟수를 대상으로 하여 Brzycki [4]의 공식을 타당도를 검증한 결과 $r = .96$ 의 높은 상관이 나타났다고 하였다. Kwon et al. [28]은 7-10RM을 이용한 추정식이 85%의 설명력을 갖는다고 하였다. Kim et al. [7]은 7-10RM을 이용한 추정식이 67.9%의 설명력을 갖는다고 하였다.

Lee et al. [19]은 20대 남성을 대상으로 7-10RM 및 반복횟수 조합방식의 타당도를 검증한 결과 bench press 추정식은 실측치와 추정치 사이에 2.17-2.26 kg의 유의한 차이가 나타났으나, lat pull down 추정식은 실측치와 추정치 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였다.

LeSure et al. [38]은 남녀 대학생에게 bench press, squat 및 deadlift의 3가지 동작을 대상으로 하여 Brzycki [4], Epley [5], Lander [24], Mayhew et al. [35], O'Conner et al. [25] 및 Wathan [27] 등의 7개 추정식의 타당도를 검증하였다. 거의 모든 추정식에서 측정치와 추정치 간의 상관관계수가 0.95 이상으로 높게 나타났다. 그러나 bench press에서는 Mayhew et al. [35] 및 Wathan [27] 추정식을 제외한 5개, squat에서는

Table 1. Methods, authors, prediction equations for 1-RM, and subjects

Methods	Authors	Prediction equations for 1-RM	Subjects
Repetitions-to-fatigue	Brzycki [4]	$1\text{-RM} = 100 * \text{rep WT} / (102.78 - 2.78 * \text{reps})$	
Repetitions-to-fatigue	Chapman et al. [22]	$1\text{-RM} = 223.1 + 6.67 (\text{reps} @ 225 \text{ LB})$	football players (college)
Repetitions-to-fatigue	Epley [5]	$1\text{-RM} = (1 + 0.0333 * \text{reps}) * \text{rep WT}$	
Repetitions-to-fatigue	Kravitz et al. [23]	$1\text{-RM} = 90.66 + (0.085 * \text{reps} * \text{reps wt}) + (-5.306 * \text{reps})$	power lifters (high-school)
Repetitions-to-fatigue	Lander [24]	$1\text{-RM} = 100 * \text{rep wt} / (101.3 - 2.67123 * \text{reps})$	
Repetitions-to-fatigue	O'connoer et al. [25]	$1\text{-RM} = \text{rep wt} * (1 + 0.025 * \text{reps})$	
Repetitions-to-fatigue	Slovak [26]	$1\text{-RM} = 221.8 + 7.17 * (\text{reps} @ 225 \text{ LB})$	football team (college)
Repetitions-to-fatigue	Wathan [27]	$1\text{-RM} = 100 * (\text{reps wt}) / 48.8 + 53.8 * e^{-0.075 \text{ reps}}$	
7-10RM wt	Kwon et al. [28]	Bench press 1-RM = $5.65 + (1.22 * 7\text{-}10 \text{ RM wt})$ Squat 1-RM = $24.87 + (1.11 * 7\text{-}10 \text{ RM wt})$	trained male (20-39 yr)
7-10RM wt	Kwon et al. [29]	Chest press 1-RM = $1.38 + (1.19 * 7\text{-}10 \text{ RM wt})$ Leg extension 1-RM = $7.63 + (1.12 * 7\text{-}10 \text{ RM wt})$	female (20-29 yr)
7-10RM wt, reps	Lee et al. [19]	Bench press 1-RM = $2.619 + (1.212 * 7\text{-}10 \text{ RM wt})$ Bench press 1-RM = $7.526 + (1.215 * 7\text{-}10 \text{ RM wt}) + 1.175 * \text{reps}$ Lat pull down 1-RM = $11.135 + (1.055 * 7\text{-}10 \text{ RM wt})$	untrained male (20-29 yr)
7-10, 11-15RM wt, reps	So et al. [30]	Bench press 1-RM = $10.130 + 1.024 * 7\text{-}10 \text{ RM} = 4.106 + 1.047 * 11\text{-}15 \text{ RM}$ Squat 1-RM = $13.189 + 1.110 * 7\text{-}10 \text{ RM} = 17.772 + 1.142 * 11\text{-}15 \text{ RM}$	female (30-49 yr)
Anthropo-metry	Lee [6]	Bench press 1-RM = $1245.95 + 1.092 * \text{right grip strength} + 0.331 * \text{stand long jump} + 2.858 * \text{circum. of upper arm}$	male (college)
Anthropo-metry	Kim et al. [7]	Bench press 1-RM = $55.349 + 1.56 * \text{chest circum.} + 0.665 * \text{right grip strength} - 0.50 * \text{thigh circum.}$	untrained male (college)
Anthropo-metry	Suh et al. [31]	Bench press 1-RM = $\text{flexion upper arm girth} * 4.305 - \text{calf maximum girth} * 1.845 + \text{hip girth} * 0.626 - 16.850$ Squat 1-RM = $\text{lower arm maximum girth} * 6.099 - \text{calf minimum girth} * 5.150 + \text{abdomen girth} * 1.218 - 20.567$ Bench press 1-RM = $\text{flexion upper arm girth} * 2.079 - 15.107$ Squat 1-RM = $\text{abdomen girth} * 1.292 - 18.347$	untrained male (college) untrained female (college)
Cognition intensity, wt	Kang et al. [8]	Bench press 1-RM = $-18.136 + 0.928 * \text{cognition intensity } 90\% \text{ 1-RM} + 0.470 * \text{wt}$ Squat 1-RM = $-36.527 + 0.811 * \text{cognition intensity } 90\% \text{ 1-RM} + 1.029 * \text{wt}$	untrained female (college)
Cognition intensity	Lee [32]	Bench press 1-RM (beginner) = $14.87 + 0.987 * \text{cognition intensity } 90\% \text{ 1-RM}$ Bench press 1-RM (trained) = $3.96 + 1.07 * \text{cognition intensity } 90\% \text{ 1-RM}$ Squat 1-RM (beginner) = $24.15 + 1.03 * \text{cognition intensity } 90\% \text{ 1-RM}$ Squat 1-RM (trained) = $-1.95 + 1.21 * \text{cognition intensity } 90\% \text{ 1-RM}$	trained & untrained male (college)
Different movement 1-RM	Lee et al. [33]	Bench press 1-RM = $\text{back squat } 1\text{-RM} * 0.604 + 16.599$ Back squat 1-RM = $\text{bench press } 1\text{-RM} * 0.679 + 48.793$ Lat pull down 1-RM = $\text{triceps extension } 1\text{-RM} * 0.991 + 37.8$	trained male (college)
Different movement 6-RM	Ebben et al. [10]	Deadlift 1-RM = $\text{squat } 1\text{-RM} * 0.83 + 14.92$ Lunge 1-RM = $\text{squat } 1\text{-RM} * 0.52 + 14.82$ Step-up 1-RM = $\text{squat } 1\text{-RM} * 0.50 + 3.32$ Leg extension 1-RM = $\text{squat } 1\text{-RM} * 0.48 + 9.58$	athletes and active male (college)

rep WT: repetition weight (kg), reps: repetition frequency, reps@225 LB: repetition frequency at 225 pound, 7-10RM wt: repetition weight (kg) on 7-10 RM, cognition intensity 90% 1-RM: cognition intensity 90% (kg) of subject's 1-RM.

Wathan [27] 추정식을 제외한 6개, deadlift에서는 모든 추정식인 7개에서 측정치와 추정치 간에 유의한 차이가 나타났다.

많은 연구들이 최대하 중량과 반복횟수를 이용하여 1-RM을 추정하는 방법이 추정의 정확성이 높으며 현장 활용이 권장된다고 보고하

고 있다. 그러나 상관계수가 0.9 이상인 경우라도 검증집단에 적용하여 실측치와 추정치 간에 유의한 차이가 나타나기도 한다는 연구도 보고되고 있다.

3. 인체측정학적 요소를 이용한 1-RM 추정

인체측정학적 연구는 인체측정학적 변인을 부가적으로 투입하는 방법과 인체측정학적 변인만을 사용하는 비수행적 방법을 중심으로 연구되어 왔다.

먼저 부가적 투입 방법은 최대하 중량과 반복횟수 추정식에 인체측정학적 변인을 부가적으로 투입하여 정확도를 증가시키기 위해 사용되어 왔다. Cumming et al. [36]은 비훈련 여성을 대상으로 하여 단계별 회귀분석에서 최대하 중량과 반복횟수와 함께 인체측정학적 변인 중 어깨 너비가 추가되었다고 하였다. Whisenant et al. [39]도 최대하 중량과 반복횟수 추정식에 인체측정학적 변인을 추가하면 타당도가 증가한다고 하였다. Hetzler et al. [21]은 대학 미식축구 선수들을 대상으로 하여 NFL-225 Test 결과로 1-RM을 추정하여 설명력은 87%로 나타났으며, 팔 둘레와 팔 길이를 투입하여 90%로 설명력이 3% 정도만 개선되었다고 하였다. 이러한 미미한 개선은 최대하 중량과 반복횟수 추정식에서 이미 높은 설명력이 나타났으므로 인체측정학적 요소에 의한 개선이 미미할 수도 있다. 위의 대부분 연구는 인체측정학적 변인에 의한 비수행적 방법의 설명력을 제시하지는 않아 추가적으로 연구가 진행되어야 할 부분이다.

한편 Mayhew et al. [40]은 225 LB 중량의 최대 반복횟수를 이용한 추정식에 인체측정학적 변인을 추가하여도 1-RM 추정의 정확도가 증가하지 않는다고 상반된 결과를 보고하였다. Lee et al. [41]은 웨이트 트레이닝 유경험자를 대상으로 하여 최대하 근력과 신체적 특징을 이용한 leg extension과 leg curl 추정식을 보고하였다. 7-10RM 추정식은 2가지 동작 모두 측정치와 추정치 간에 0.98-0.99의 높은 상관관이 나타났으나 신체자료 추정식은 양호한 추정식이 산출되지 않았다고 하였다. Mayhew et al. [40]은 NHL-225 추정식이 유의하지 않은 수준으로 bench press 1-RM을 과소평가(1.1 ± 12.7 lbs)한다고 하였으나 다른 5개의 최대하 중량 및 반복횟수(RTF) 추정식은 유의하게 과대평가($3.5-9.0 \pm 12.2-14.1$ lbs) 한다고 하였다.

비수행적 방법은 인체측정학적 변인만을 이용하여 1-RM을 추정하는 방법을 위해 사용되어 왔다. Mayhew et al. [42]은 상완 둘레와 근육 단면적, 대퇴부 둘레 및 1-RM 사이에는 높은 상관관계가 존재한다고 하였다. Kim et al. [7]은 인체측정학적 변인만을 이용하여도 어느 정도 1-RM을 예측할 수 있다고 하였다. 9개의 인체 측정 변인들 중에서 bench press에서는 가슴둘레, 악력, 대퇴둘레가 채택되었으며, squat에서는 가슴둘레가 채택되었고, 예측력은 58.7%와 39.6%로 bench press가 다소 높게 나타났다. Lee [6]은 웨이트 트레이닝 유경험자를 대상으로 하여 20가지의 신장, 체중, 피부두께, 신체둘레 및 5개의 기초체력을 이용하여 3가지 동작의 추정식을 보고하였다. Bench press 추정식의 설명력은 80.8%, back squat 추정식은 60.5%, deadlift 추정식은 61.6%로 높게 나타났다. 검증집단을 대상으로 하여 추정식의 타당도를 검증한

결과, 5.4%를 과대평가하거나 과소평가하나 실측치와 추정치 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하여 양호한 추정식이라고 보고하였다. 그러나 초보자를 대상으로 한 Kim et al. [7]의 추정식을 유경험자에게 적용하면 9.2-10.1% 정도를 과대평가하거나 과소평가하여 부적합하다고 하였다. Lee [43]는 Lee [6]와 유사한 연구설계를 lat pull down, biceps curl 및 triceps extension 추정식에 적용하였다. Lat pull down 추정식의 설명력은 67.2%, biceps curl 추정식은 67.2%, triceps extension 추정식은 51.3%로 높게 나타났으며, 양호한 추정식이라고 하였다. 검증집단으로 타당도를 검증한 결과에서도 3가지 추정식 모두 실측치와 추정치 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였다. 그러나 Scanlan et al. [44]은 비훈련 여대생을 대상으로 bench press를 인체측정학적 변인만으로 추정한 결과, 정확하게 추정할 수 없다고 하였다.

이상의 연구들을 종합해 보면 부가적 투입 방법은 최대하 중량과 반복횟수 추정식에 인체측정학적 변인을 부가적으로 투입하면 추정식의 정확도를 3% 내외로 개선시키는 보고가 상대적으로 많은 편이라고 하겠다. 하지만 동작에 따라서는 정확도 개선이 거의 나타나지 않는다는 연구도 있으므로 현장 적용에서 고려하여야 하겠다. 한편 비수행적 방법의 연구 결과는 양호한 추정이 가능하다는 결과와 추정의 정확성에 의문이 든다는 결과가 혼재되고 있다. 대상자의 훈련 수준이 높은 경우와 남성에게서 상대적으로 정확성이 높게 보고되고 있으며, 초보자 추정식을 훈련자에게 적용하면 오차가 크게 보고되고 있으므로 훈련 수준과 성별 등을 고려하여 적용할 필요가 있겠다.

4. 다양한 방법을 이용한 1-RM 추정

1) 등척성 근력 이용

등척성 근력을 이용하여 1-RM을 추정하는 연구는 초창기부터 진행되어 왔다. Rasch et al. [45]은 최대 등척성 근력과 등장성 근력 사이에는 .69-.80의 높은 상관관계가 있으므로 추정이 가능하다고 하였다. 이후 Hackney et al. [46]은 leg extension의 경우 등척성 근력과 1-RM 사이에 $r=.65$ 의 상관관계가 있으며, Blazeovich et al. [47]은 isometric squat (IS)의 경우 등척성 근력과 1-RM 사이에 $r=.77$ ($p<.01$), isometric forward hack squat (IFHS)의 경우 $r=.76$ ($p<.01$)의 상관관계가 나타났다고 하였다. Lim et al. [48]은 chest press 동작을 적용하여 등척성 근력과 1-RM 사이에 $r=.832$ ($p<.001$)의 높은 상관관이 나타났다고 보고하였다.

하지만 Blazeovich et al. [47]은 IS와 IFHS에 의한 1-RM 추정식의 예측 오차는 8.5% (추정의 표준오차; standard error of the estimate [SEE] = 13.8 kg)과 7.3% (SEE = 19.4 kg)로 나타났으며, 이는 매우 높은 수준의 타당도를 의미하지는 않는다고 하였다. Lim et al. [48]의 연구 결과에서도 평균 차이가 5.0% (4.1 kg)로 나타났으며, 유용한 수준의 추정식으로 나타났다.

등척성 근력을 이용하는 방법은 측정 시간의 경제성, 안전성 측면에서 유용하나 추정의 정확도는 최대하 중량과 반복횟수를 이용하는 방

법보다 다소 낮은 0.6-0.8 내외로 나타나는 경향으로 보고되고 있다. 등척성 근력을 이용할 경우에는 측정기구, 측정자세와 관절 각도 등을 정확하게 준수하여야 할 것이다.

2) 운동자각도와 인지강도 이용

운동자각도(ratings of perceived exertion, RPE)와 인지강도 등의 변인을 이용하여 1-RM을 추정하는 연구들도 적용의 간편성 측면에서 시도되고 있다. Eston et al. [9]는 젊은 남녀를 대상으로 하여 bilateral biceps curl (BC)과 bilateral knee extension (KE)의 1-RM과 1-RM의 20, 40 및 60% 강도의 맹검(blind) 2회 반복 운동 후 RPE (6-20)를 측정하고 추정식을 산출하였다. 상관계수는 BC가 0.97 ($p < .05$)과 KE가 0.92 ($p < .05$)로 높게 나타났으며, 측정과 추정의 차이는 BC가 -0.4 ± 3.7 kg, KE가 -1.57 ± 5.0 kg으로 미미한 수준이었다. 즉, Borg 6-20 운동자각도를 이용하여서도 1-RM을 유용하게 추정할 수 있다고 하였다. Lee [32]는 인지강도를 이용하여 웨이트 트레이닝 남성 초보자와 중상급자의 bench press와 squat 1-RM 추정방법을 보고하였다. 자신이 수행하는 강도를 알지 못하는 상태에서 자신의 1-RM의 60%, 75% 및 90%에 해당하는 강도를 선택하도록 하였다. 초보자와 중상급자 모두 인지강도를 이용하여 대부분 상관계수 0.67-0.89로 1-RM을 추정하는 모형을 산출하였다. 그러나 초보자와 중상급자 모두 인지강도가 실측강도보다 7-38% 정도 낮게 나타나기도 하였다. Kang et al. [7]은 여대생 초보자를 대상으로 하여 bench press 추정모형의 $r = .63-0.81$ ($p < .01$), squat 추정모형의 $r = .67-.80$ ($p < .01$)으로 양호한 추정식을 보고하였다. 인지강도는 실측강도보다 bench press는 6.6-15.4%, squat는 12.1-22.9% 정도 낮게 나타났다고 하였다. Lee [32], Kang et al. [8]의 2개의 논문이 인지강도 측정 사이의 신뢰도를 다루지 않았지만 인지강도의 편차 가능성도 고려하여야 한다. 측정 중량을 무선허당하여 2-3회 정도 측정할 수치를 평균하여 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

운동자각도 이용 방법은 0.9 정도의 높은 설명력의 추정이 가능하다고 보고되고 있으나 이러한 방법의 관련 연구가 많지 않은 편이다. 인지강도 이용 방법도 인지강도가 실측강도보다 낮게 나타나지만 이를 반영한 추정식을 정확도가 0.6-0.8 정도로 양호한 것으로 나타났으며, 성별과 훈련 수준을 고려하여 적합한 추정식을 적용할 필요가 있겠다.

3) 특정동작의 1-RM 이용

Lee et al. [33]은 특정동작의 1-RM을 이용하여 다른 동작의 1-RM을 추정하는 방법을 제안하였다. 웨이트 트레이닝 경험이 있는 성인 남성을 대상으로 하여 10개 웨이트 트레이닝 동작의 1-RM을 측정하고 대표성이 높은 특정동작을 요인분석을 통해 추출하고 다른 9가지 동작의 1-RM을 추정하는 방법을 보고하였다. Bench press 이용 추정식은 9개 동작 모두에서 유의한 상관관계가 나타났고, 7개에서 상관계수가 0.44-

0.80으로 양호하게 나타났다고 하였다. Triceps 이용 추정식은 9개 동작 중에서 8개에서 유의한 상관관계가 나타났으며, 7개에서 상관계수가 0.41-0.80으로 양호하게 나타났다고 하였다. Back squat 이용 추정식은 9개 동작 모두에서 유의한 상관관계가 나타났고, 7개에서 상관계수가 0.53-0.75로 양호하게 나타났다고 하였다.

Ebben et al. [10]도 squat 6-RM을 이용하여 유사한 하지 동작인 deadlift, lunge, step-up 및 leg extension의 6-RM을 추정하는 방법을 보고하였다. Squat 6-RM은 deadlift ($r^2 = .81$), lunge ($r^2 = .62$), step-up ($r^2 = .71$) 및 leg extension ($r^2 = .67$) 등의 동작과 양호한 설명력이 나타났다고 하였다. 그러나 위의 연구 모두는 검증집단을 대상으로 한 타당도는 보고되지 않았으므로 향후에는 다양한 집단을 대상으로 하여 추정 공식을 보고하고 타당도를 검증할 필요가 있겠다.

특정 동작의 1-RM을 이용하여 다른 여러 동작의 1-RM을 0.4-0.9 정도로 양호하게 추정할 수 있다고 보고되고 있다. 특정 동작의 1-RM은 훈련 수준과 근육군의 유사성에 따라 영향을 받으므로 대상을 세분화하고 근육군에 따른 다양한 추정식이 개발될 필요가 있겠다.

4) 가속도계 및 인체측정학적 변인 이용

Rontu et al. [49]은 bench press 운동 중에 최대 중량과 최대 중량을 드는 동안 발생한 최대가속도를 이용하여 1-RM을 추정하였다. 1-RM을 측정하고 50, 60, 70, 80 및 90%의 중량으로 들기를 하는 동안 3축 가속도계의 최대 가속도를 이용하여 1-RM을 추정하는 5개의 공식을 산출하였다. 측정과 추정 1-RM 사이에는 0.89-0.97 ($p < .001$)의 높은 상관관계가 나타났다고 하였고 추정식 간에도 $-0.11-0.01$ kg의 미미한 차이만이 나타났다고 하였다. Rontu et al. [49]의 연구는 1-RM 측정을 하고 이 강도의 상대강도로 운동을 수행하며 가속도계의 최대 가속도를 이용하므로 새로운 대상의 1-RM을 모르는 경우에는 적용하는 데 제한점이 있을 수 있다.

Caruso et al. [11]은 가속도계를 이용하여 인체측정학적 변인이 다양한 부하(1-RM의 40, 55 및 75%)의 bench press 운동 중 peak force, 속도, 파워 및 반복횟수 등의 운동수행능력에 대한 설명력을 분석하였다. 인체측정학적 변인은 체중, 팔 길이 및 양견봉 폭이었다. 체중이 1-RM과 힘 관련 변인과 가장 상관관계가 높았으며, 팔 길이는 40% 강도의 변인과 중수준의 상관관계가 나타났으며, 양견봉 폭은 40과 50% 강도의 세트 중 반복횟수와 역상관계가 나타났다고 하였다.

이 분야의 연구는 다른 선행 연구와 달리 전자기기를 이용하여 상당히 정확한 추정식이나 운동수행능력을 설명할 수 있는 접근 방법을 제시한 것에 의미를 둘 수 있으며 지속적인 연구가 기대되는 분야이다.

5. 특수집단의 1-RM 추정

Abdul-Hameed et al. [12]은 40대 중년 남녀 제2형 당뇨병환자를 대상

으로 하여 supine bench press, leg press, lateral pull, leg extension 및 seated biceps curls 동작의 Brzycki [4] 추정식에 의한 1-RM의 측정-재 측정의 신뢰도와 측정의 표준오차(standard error of measurement, SEM)를 보고하였다. 측정-재측정의 신뢰도는 0.98-0.99로 매우 높았으며 SEM은 lateral pull과 leg extension이 가장 낮았으며, 종속 t-test 결과 5개 동작 중 3개에서 유의한 차이가 나타나지 않았다고 하였다. 즉, 비 훈련 제2형 당뇨병자에게도 상하지 동작 모두 1-RM 추정은 신뢰성 있는 방법이라고 하였다.

Schwingel et al. [50]은 패럴림픽 조정 선수들을 대상으로 하여 상지의 lying T-bar row과 flat barbell bench press 동작, 하지의 leg press 동작의 1-RM 실측치와 추정치 간의 차이를 보고하였다. 상지 동작은 측정치와 추정치 간에 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 하지 동작은 현저한 차이가 나타났다고 하였다. 즉, 패럴림픽 조정 선수에게도 상지의 1-RM 추정식은 양호하게 적용할 수 있다고 하였다.

특수집단을 대상으로 한 경우에는 일반인과 생리적 측면과 기능적 측면에서 고려할 사항이 많다. 그러나 일반인을 대상으로 한 1-RM 추정방법도 기능적 측면에서 장애가 되지 않는 부분에서는 적용할 수 있는 연구들이 보고되고 있다. 하지만 선행연구의 숫자가 제한적이므로 지속적인 검증이 필요하다고 하겠다.

결론 및 제언

본 연구는 1-RM 추정 선행 연구를 추정 유형에 따라 분류하고, 유형별 연구 방향, 특성 및 제한점 등을 국외 34편, 국내 16편을 대상으로 하여 고찰하고 향후 관련 연구를 위한 제언을 한 것이다. 일반적으로 최대하 중량과 반복횟수를 이용한 1-RM 추정(RTP), 인체측정학적 요소를 이용한 1-RM 추정, 다양한 방법을 이용한 1-RM 추정 및 특수 집단의 1-RM 추정을 중심으로 진행되어 왔다. 최대하중량과 반복횟수 연구는 최대하 중량의 반복횟수를 이용하며 0.7-0.95 정도로 상관이 나타나고 1-RM에 근접할수록 추정의 정확도가 증가하는 경향으로 나타나고 있다. 측정의 간편성, 타당도, 안전성 등을 고려하면 7-10RM 중량을 이용하는 방법이 권장된다. 인체측정학적 요소의 부가적 투입 방법은 RTP에 부가적으로 투입하면 정확도를 3% 내외로 개선시키는 보고가 상대적으로 많은 편이지만, 개선이 나타나지 않는다는 연구도 있다. 인체측정학적 요소의 비수행적 방법 연구는 양호한 추정이 가능하다고 정확성에 의문이 든다는 결과가 혼재되고 있다. 훈련 수준이 높은 경우와 남성에게서 상대적으로 정확성이 높게 보고되고 있으므로 이를 고려하여 적용해야 한다. 등척성 근력 이용 방법은 시간의 경제성, 안전성 측면에서 유용하나 정확도는 RTP보다 낮은 0.6-0.8 내외로 나타났다. 운동자각도 이용 방법은 0.9 정도의 높은 설명력의 추정이 가능하다고 보고되고 있으나 이러한 방법의 관련 연구

가 많지 않은 편이다. 인지강도 이용 방법도 추정식의 정확도가 0.6-0.8 정도로 양호한 것으로 나타났으며, 성별과 훈련 수준을 고려하여 적합한 추정식을 적용할 필요가 있겠다. 특정 동작 방법에서 다른 여러 동작의 1-RM을 0.4-0.9 정도로 양호하게 추정할 수 있으나 적용대상을 세분화하고 근육군에 따른 다양한 추정식이 개발될 필요가 있겠다. 가속도계 등의 전자기기를 이용하여도 상당히 정확한 추정식이나 운동수행능력을 설명할 수 있으며 지속적인 연구가 기대되는 분야이다. 특수집단을 대상으로 한 경우에는 일반인을 대상으로 한 1-RM 추정 방법도 기능적 측면에서 장애가 되지 않는 부분에서는 적용할 수 있는 연구들이 보고되고 있다. 하지만 선행연구의 숫자가 제한적이므로 지속적인 검증이 필요하다고 하겠다.

향후 연구를 위해서는 몇 가지 측면을 제안하면 다음과 같다.

- 1) 다양한 많은 추정 방법을 성별, 훈련 수준, 연령대, 대상 동작, 측정 기구 등에 따라 현장에서 쉽게 활용할 수 있도록 특성을 정리하여야 한다.
- 2) 여러 선행 연구의 추정식을 다양한 대상으로 타당도를 검증하여 현장 적용의 가능성과 제한점을 제시할 필요가 있다.
- 3) 인체측정학적 연구는 대부분은 최대하 중량과 반복횟수 추정식에 인체측정학적 변인을 부가적으로 투입하고 있으나 반대로 인체측정학적 모형에 최대하 변인을 투입하여 설명력 개선 정도도 확인해 볼 필요가 있다.
- 4) 적용의 간편성 측면에서는 운동자각도와 인지강도를 이용하는 방법의 유용성이 인정된다. 다만 대상자의 인지강도 평가의 타당도 증가와 편차를 감소를 위한 노력이 요구된다.
- 5) 특정 동작을 이용하여 추정할 경우에는 훈련 수준 등에 따라 대상을 세분화하고 근육군에 따른 다양한 추정식이 개발될 필요가 있겠다.
- 6) 가속도계 등의 전자기기를 이용하는 연구는 각종 smart phone과 wearable device가 지속적으로 개선되고 보급되는 만큼 향후에 간편하면서도 정확한 추정 방법이 연구되고 보고되는 유망한 분야라 하겠다.
- 7) 특수집단을 대상으로 한 경우에는 일반인 추정방법을 기능적 측면에서 장애가 되지 않는 부분에서는 적용할 수도 있으므로 질환과 장애 상태 등을 다양화하여 수행할 필요가 있다.

REFERENCES

1. Lee SI, Lim SK. Regression equations to predict one repetition maximal strength of bench press and Lat pull down from 7-10 repetition submaximal test in twenties males. The Korean Journal of Physical Education 2005;44(2):285-293.
2. Kim PS, Mayhew JL, Peterson DF. A modified YMCA bench press

- test as a predictor of 1 repetition maximum bench press strength. The Journal of Strength & Conditioning Research 2002;16(3):440-445.
3. Kemmler WK, Lauber D, Wassermann A, Mayhew JL. Predicting maximal strength in trained postmenopausal woman. Journal of Strength & Conditioning Research 2006;20(4):838-842.
4. Brzycki M. Strength testing-predicting a one-rep max from reps to fatigue. Journal of Physical Education, Recreation and Dance 1993; 64(1):88-90.
5. Epley B. Poundage chart. Lincoln, NE: Boyd Epley Workout 1985.
6. Lee BK. Development and verification 1-RM prediction equation of bench press, back squat and dead lift by anthropometric and basic fitness variables for adult males. Korea Sport Research 2006;17(6):275-286.
7. Kim KB, Hong KD, Lee DC, Lee SW, Jun TW. Estimation of one repetition maximum by anthropometric measurements in weight training beginners. Exercise Science 2005;14(4):495-504.
8. Kang HJ, Lee BK, Kim HJ. Difference between cognition and measured intensity of bench press and squat for weight training, and prediction of 1-RM based on cognition intensity and body weight in college untrained women. Kinesiology 2014;16(2):1-10.
9. Eston R, Evans HJL. The validity of submaximal ratings of perceived exertion to predict one repetition maximum. Journal of Sports Science and Medicine 2009;8(4):567-573.
10. Ebben WP, Feldmann CR, Dayne A, Mitsche D, Chmielewski LM, et al. Using squat testing to predict training loads for the deadlift, lunge, step-up, and leg extension exercises. Journal of Strength & Conditioning Research 2008;22(6):1947-1949.
11. Caruso JF, Taylor ST, Lutz BM, Olson NM, Mason ML, et al. Anthropometry as a predictor of bench press performance done at different loads. Journal of Strength & Conditioning Research 2012;26(9):2460-2467.
12. Abdul-Hameed U, Rangra P, Shareef MY, Hussain ME. Reliability of 1-repetition maximum estimation for upper and lower body muscular strength measurement in untrained middle aged type 2 diabetic patients. Asian Journal of Sports Medicine 2012;3(4):267-273.
13. Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training programs. Champaign, IL: Human Kinetics.
14. Hoeger W, Barette SL, Hale DF, Hopkins DR. Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. Journal of Applied Science Research 1987;1(1):11-13.
15. Chapman PP, Whitehead JR, Binkert RH. The 225-lb reps-to-fatigue test as a submaximal estimate of 1-RM bench press performance in college football players. Journal of Strength and Conditioning Research 1998;14(2):25-61.
16. Reynolds JM, Gordon TJ, Robergs RA. Prediction of one repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. Journal of Strength and Conditioning Research 2006;20(3):584-592.
17. Dohoney P, Chromiak JA, Lemire D, Abadie BR, Kovacs C. Prediction of one repetition maximum (1-rm) strength from a 4-6 rm and a 7-10RM submaximal strength test in healthy young adult males. Journal of Exercise Physiology Online 2002;5(3):54-59.
18. Morales J, Sobonya S. Use of submaximal repetition tests for predicting 1-RM strength in class athletes. Journal of Strength & Conditioning Research 1996;10(3):186-189.
19. Lee SI, Lim SK. Regression equations to predict one repetition maximal strength of bench press and lat pull down from 7-10 repetition submaximal test in twenties males. The Korean Journal of Physical Education 2004;44(2):285-293.
20. Yoon JR, Lim SK. Accuracy of 1-RM prediction equations from 1-10 RM in college wrestlers. Exercise Science 2007;16(1):39-46.
21. Hetzler RK, Schroeder BL, Wages JJ, Stickley CD, Kimura IF, et al. Anthropometry increases 1 repetition maximum predictive ability of NFL-225 test for division IA college football players. Journal of Strength & Conditioning Research 2010;24(6):1429-1439.
22. Chapman PP, Whitehead JR, Binkert RH. The 225-lb reps-to-fatigue as a sub-maximal estimate of 1-RM bench press performance in college football players. Journal of Strength and Conditioning Research 1998;12:258-261.
23. Kravitz L, Akalan C, Nowicki K, Kinzey SJ. Prediction of 1 repetition maximum in high-school power lifters. Journal of Strength & Conditioning Research 2013;17(1):167-172.
24. Lander J. Maximum based on reps. National Strength and Conditioning Association Journal 1984;6(6):60-61.
25. O'Connor B, Simmons J, O'Shea P. Weight training today. St Paul: West Publisher. 1989.
26. Slovak JP, Ward TE, Mayhew JL. Cross-validation of NFL-225 tests for predicting 1 repetition maximum bench press performance for a college football team [Abstract]. Journal of Strength and Conditioning Research 1999;13:433.
27. Wathen D. Load assignment. In: essential of strength training and conditioning. TR Baechle, ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 1994;435-446.
28. Kwon YS, Kin JH, Lee SI. Prediction of one repetition maximum from

- a 7-10 repetitions submaximal test in trained males at the age of twenty and thirty years. *The Korean journal of Physical education* 2002a; 41(3):377-382.
29. Kwon YS, Lee SI, Hwang JM, Lim SK. The study on regression analysis of one repetition maximal strength from a 7-10 repetition submaximal strength test in twenties females. *Journal of Korean Society of Sports Medicine* 2002;20(1):65-71.
 30. So WY, Sea DI, Choi DH. Regression analysis of one repetition maximal strength from a 7-10, 11-15 repetition submaximal strength test in 30-40s women. *The Korean Journal of Measurement and Evaluation in Physical Education and Sport Science* 2011;13(1):67-78.
 31. Suh SH, Park SY, Kim KB. One repetition maximum by circumference of muscles in weight training beginners. *The Korean Journal of Measurement and Evaluation in Physical Education and Sport Science* 2008;10(2):57-68.
 32. Lee BK. Difference between cognition and measured intensity of bench press and squat for weight training beginner and trained group, and the development of 1-RM prediction model based on cognition intensity. *Kinesiology* 2013;15(4):1-12.
 33. Lee BK, Hwang JM, Kim YK. Development of 1-RM prediction equation and evaluation criteria for weight training on adults male. *Exercise Science* 2007;16(2):151-164.
 34. Knutzen KM, Brilla LR, Caine D. Validity of 1-RM prediction equation for older adult. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1999;17(1):167-172.
 35. Mayhew JL, Ball TE, Arnold MD, Bowen JC. Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *Journal of Applied Sport Science Research* 1992; 6(4):200-206.
 36. Cummings B, Finn KJ. Estimation of a one repetition maximum bench press for untrained women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1998;12(4):262-265.
 37. LeSure DA, James H. Prediction of a 1-RM bench press and 1-RM squat from the repetition to fatigue using the Brzycki formula. *Journal of Strength and Conditioning Research* (abstract from NSCA conference) 1993;7(3):186.
 38. LeSure D, McCormick JH, Mayhew J, Atnold MD. The accuracy of prediction equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat, and deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1997;11(4):211-213.
 39. Whisenant MJ, Panton LB, East WB, Broeder CE. Validation of submaximal prediction equations for the 1 repetition maximum bench press test on a group of collegiate football players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2003;17(2):221-227.
 40. Mayhew JL, Jacques JA, Ware JS, Chapman PP, Bemben MG, et al. Anthropometric dimensions do not enhance one repetition maximum prediction from the NFL-225 test in college football players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2004;18(3):572-578.
 41. Lee BK, Lee DK. Estimation of 1-RM on leg extension and leg curl from submaximal strength and anthropometric variables for adult male. *Kinesiology* 2009;11(3):21-30.
 42. Mayhew JL, Piper FC, Ware JS. Anthropometric correlates with strength performance among resistance trained athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 1993;33(2):159-165.
 43. Lee BK. Development and verification of 1-RM prediction equation of lat pull down, biceps curl and triceps extension by anthropometric and basic fitness variables for adult males. *Exercise Science* 2006; 15(4):347-356.
 44. Scanlan JM, Ballmann KL, Mayhew JL, Lantz CD. Anthropometric dimensions to predict 1-RM bench press in untrained females. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 1999;39(1):54-60.
 45. Rasch PJ, Pierson WR. Some relationships of isometric strength, isotonic strength, and anthropometric measures. *Ergonomics* 1963;6(2): 211-215.
 46. Hackney AC, Duetsch DT, Gilliam TB. Assessment of maximum isometric, isotonic and isokinetic leg extensor strength in youth adult females. *National Strength and Conditioning Association Journal* 1984;6(4):28-31.
 47. Blazeovich AJ, Gill N, Newton RU. Reliability and validity of two isometric squat tests. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2002;16(2):298-304.
 48. Lim SK, Lee SI, Kim TW, Chung JS. Reliability of isometric strength by test-retest and regression equations to predict one repetition maximal strength for chest press. *Journal of Sport and Leisure Studies* 2006;27:265-273.
 49. Rontu JP, Hannula MI, Leskinen S, Linnamo V, Salmi JA. One-repetition maximum bench press performance estimated with a new accelerometer method. *Journal of Strength & Conditioning Research* 2010;24(8):218-225.
 50. Schwingel PA, Porto YC, Dias MC, Moreira MM, Zoppi CC. Predicting one repetition maximum equations accuracy in paralympic rowers with motor disabilities. *Journal of Strength & Conditioning Research* 2009;23(3):1045-1050.