

Journal of Human Sport and Exercise *online*

J. Hum. Sport Exerc.

Official Journal of the Area of Physical Education and Sport.

Faculty of Education. University of Alicante. Spain

ISSN 1699-1605

An International Electronic Journal

Volume 3 Number 1 January 2008

APPLICATION OF THE 1RM ESTIMATION FORMULAS FROM THE RM IN BENCH PRESS IN A GROUP OF PHYSICALLY ACTIVE MIDDLE-AGED WOMEN

Jiménez, A.¹, De Paz, J. A.²

¹Department of Motricity & Training Fundamentals, Faculty of Physical Activity and Sport, European University of Madrid.

²Department of Biomedical Sciences, INCAFD, University of León.

Address for correspondence:

alfonso.jimenez@uem.es

ABSTRACT

The 1RM is the standard measurement to value isotonic strength. Nevertheless, this type of test takes a lot of time, can expose evaluated individuals at a higher risk of injury, etc. Specialized literature recognizes that the use of a procedure which requires a smaller load than 1RM to estimate individuals maximal strength has, undoubtedly, a great attractive. Therefore, RM tests are the most commonly tool used with general population. Having the intention of proving these proposals among Spanish female population, 28 active women were evaluated in hers 1RM and RM before and after 8 training weeks. The results obtained put the predictive value of these formulas into question, especially regarding its individual predicting value. **Keywords:** muscular strength, evaluation, estimate, number of repetitions, women.

INTRODUCTION

The 1RM test is the standard method used for assess isotonic strength. However, this kind of assessment is time consuming and it has been suggested that the 1RM test could expose the subjects under study to a greater risk of injury (Chapman et al., 1998). Thus multiple assessments for predicting 1RM using sub-maximal tests have been developed in the last decades. These estimates have been converted into numerous 1RM formulas that are commonly used to prescribe resistance training programs.

Lifting the 1-RM load also requires great concentration and considerable mental preparation of the subject. For beginners, trying to raise this weight can be an extremely intense experience that leaves them unsure and scared. Although there is no real data concerning the risk of injury in this kind of test, the potential risk may be significantly increased by using very heavy loads (Mayhew, Ball, Arnold, Bowen, 1992).

The use of a procedure that requires a lower 1RM load to estimate the maximum strength of the subjects is undoubtedly extremely attractive (Mayhew, Ball, Arnold, Bowen, 1992).

This kind of test can also reduce the amount of time taken for the evaluation significantly. The above-mentioned study by Chapman et al. (1998) required only one examiner and two and a half hours to assess the strength of 98 American football players.

However, Hoeger et al., questioned the use of relative resistance capacity with loads equivalent to 40, 60 and 80% of 1RM to estimate the maximum strength capacity in various exercises involving dumbbells (Hoeger, Barette, Hale, Hopkins, 1987; Hoeger, Hopkins, Barette, Hale, 1990). Studies show that the stronger subjects can carry out more repetitions than the weaker ones at a determined percentage of 1-RM.

In addition, other studies have shown that light loads mobilised to fatigue at a pace of one repetition every 2 seconds can predict maximum strength in the bench press with a lot accuracy (Ball, Rose, 1991; Invergo, Ball, Looney, 1991).

Prediction of 1RM in the bench press

The bench press is one of the most popular exercises for strength training programs and it is used by both trained and beginners subjects. The exercise demands the controlled bending of the arms (using a bar fitted with discs at either end) while lying supine on a horizontal bench, followed by extension of the arms to raise the weight again from chest level (Algra, 1982). The bench press is one of the essential basic exercises to use when evaluating maximal strength (1RM) (Arthur, 1982).

There are two kinds of prediction tests for the assessment of the 1RM in the bench press. With the first one, the subjects carry out the maximum number of repetitions possible with a weight that is a percentage of their estimated 1RM (relative load test). With the second test, all subjects are assessed with the same load (absolute load test). The most common absolute load test involves carrying out the maximum number of repetitions possible with a load of 225 lbs. As this test is frequently used in the U.S. National Football League (NFL), it is known as the “NFL-225 Test” (Mayhew, Ware,

Bemben, Wilt, Ward, Farris, Juraszek, Slovak, 1999). The test is also used with college-aged sportsmen and women.

In the past decade, a number of scientific papers have been published on prediction equations for estimating 1RM in the bench press, and many of them were reviewed and assessed by LeSuer et al. (1997). The authors evaluated seven prediction equations, using cross validation and a sample of 67 university students (27 of whom were female). The following equations were analysed: Bryzcki (1993), Epley (1985), Lander (1985), Lombardi (1989), Mayhew et al. (1992), O'Conner et al., (1989) and Wathen (1994). These equations are listed in Table 1:

Author	1-RM prediction equation
Bryzcki (1993)	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{rep wt} / (102.78 - 2.78 \cdot \text{reps})$
Epley (1985)	$1\text{-RM} = (1 + .0333 \cdot \text{reps}) \cdot \text{rep wt}$
Lander (1985)	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{rep wt} / (101.3 - 2.67123 \cdot \text{reps})$
Lombardi (1989)	$1\text{-RM} = \text{rep wt} \cdot (\text{reps})^{**.1}$
Mayhew et al. (1992)	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{rep wt} / (52.2 + 41,9 \cdot \exp(-.055 \cdot \text{reps}))$
O'Conner et al. (1989)	$1\text{-RM} = \text{rep wt} (1 + .025 \cdot \text{reps})$
Wathen (1994)	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{rep wt} / (48.8 + 53.8 \cdot \exp(-.075 \cdot \text{reps}))$

Table 1. 1RM estimation equations analysed by LeSuer et al. (1997)

The study revealed that all coefficients correlating the maximum strength achieved and the estimated strength were high for each equation ($r > 0.95$). However, in the case of the bench press, the most significantly accurate were those of Mayhew et al. (1992) and Wathen (1994).

These results also agree with previous findings relating to the performance of men and women. This means that the Mayhew et al. (1992) and Wathen (1994) equations were better at predicting the bench press strength of men than all the others. This finding agree too with another study carried out by Prinster et al. (1993), where the Mayhew et al. (1992) formula was the best at estimating the 1RM of college-aged males.

Brzycki (1993) and Ware et al. (1995) stated that the best way of estimating 1RM was to perform at least 10 repetitions to fatigue.

Likewise, and related to the exercise best suited to the system for calculating 1RM, Arnold et al. (1995) and Ware et al. (1995) believed that prediction equations were more reliable for the bench press than for the squat. In addition, Arnold et al. (1995) stated that, in terms of the load displaced, loads of around 85% 1RM were more reliable for predicting maximum strength than lighter loads (65% 1RM).

Mayhew et al. (1993) and Wathen (1994) identified a curvilinear relationship between 1RM and the number of repetitions to failure. The greatest fall in 1RM percentage

occurred between 1 and 2 repetitions. From this point on, the relationship between 3 to 10 repetitions and the 1RM percentage appeared to be relatively linear.

However, and despite this linear relationship, the equations analysed in the LeSuer et al. (1997) study tended to underestimate the load lifted. To finish this comparative study, the authors identified ten minutes as being the most effective recovery time between sets in these 1RM estimation sessions 1RM (LeSuer et al., 1997).

Another review study (Knutzen, Brilla, Caine, 1999) concluded that the Wathen (1994) equation obtained the best results when it came to calculating maximum strength (in different exercises involving the upper body, including bench press) for elderly individuals.

Tous (1999) quotes another study that also reviewed the accuracy of the same formulas for predicting 1RM. This was the Wood et al. (1999) study that involved 49 healthy sedentary adults (53.5±3.3 years of age) using Hammer (fixed resistance) machines. According to Tous, this author discovered that the Brzycki and Lander formulas led to unacceptable errors, over 75% for the leg press and triceps extension when repetitions to fatigue exceeded 30. However, the Epley and Wathen formulas gave fewer errors, from 13% to 22%, for the whole range of repetitions to fatigue. The authors finally came to similar conclusions to those of the Mayhew et al. (1995) studies – when repetitions to fatigue were less than 10, all the formulas gave similar errors, but those of Epley and Wathen gave the lowest error for all exercises and for the whole range of repetitions to fatigue.

Finally, one interesting aspect that needs to be taken into account and analysed in depth at a future date is that the prediction capacity of these regression equations can be improved, especially with untrained subjects, by adding certain anthropometric variables to them (Cummings, Finn, 1998).

METHODS

Design: After selecting a group of physically active middle-aged women not familiar with resistance training, the subjects completed a 6-session familiarization period to learn the technique of the basic exercise of the programme – the bench press. They then completed two sessions designed to assess their maximum strength (1RM), one for familiarization and the other one for recording values as per the ASEP protocol (Brown, Weir, 2001). A speed transducer was used in the sessions to assess both values, their 1RM and their RM. After the initial assessment, the participants were randomly assigned to one of the three study groups: Group 1: Classic linear periodization, Group 2: Nonlinear periodization, Group 3: Control group.

Groups 1 and 2 completed 8 weeks of individualized training, with three sessions per week (24 sessions). During this period they kept a training diary and listed the loads used in each session. Meanwhile, Group 3 continued with their normal physical activities. Once the 8 weeks were over, the subjects were assessed again (1RM and RM) using the same protocol.

Sample: A group of women (n=28), aged from 30 to 40 years old (Mean: 35.32, SD: 3.04), were recruited from among the members of the Estadio de la Comunidad Sports

Centre in Madrid (Avda. Arcentales, s/n. Madrid 28022). The pre-requisite for taking part in the study was that they should have been taking part in one of the centre's activity programs in the last 6 months. Although physically active, none of the participants had any prior experience in specific resistance training.

The muscular strength (1RM and RM), familiarization, pre- and post- training program evaluations were carried out according to the Official Recommendations of the U.S. Society of Exercise Physiologists (ASEP), contained in a protocol designed by Brown & Weir and published in their *Journal of Exercise Physiology On Line* (2001). All the evaluations took place at the Community of Madrid Sports Medicine Centre, in a room specifically focused to this activity. The tests were overseen by the Project Head, always with at least one doctor present in the centre.

Statistical Analysis: In the first place the distribution of each variable was analysed to see whether they complied with criteria of normality. The descriptive analyses of the results obtained from this study were carried out using mean and standard deviation. The standard SPSS for Windows (version 11.0) software tool was used to analyse all the results.

RESULTS and DISCUSSION

The 1RM estimates that the literature (Lesuer et al., 1997) regards as most valid for obtaining maximum strength using the bench press as a function of the number of repetitions are those carried out using the Mayhew (1992) and Wathen (1994) formulas. Thus, the results obtained in the maximum repetitions test can be used as the basis for calculating both 1RM estimates in each subject.

The results show that, in the initial test, the real 1RM value was less than estimated 1RM, reaching a difference of 6.43% between the 1RM and the Mayhew estimate, and 14.19% with the Wathen estimate. After the training period, the values of the two estimates for all the women assessed continued to be higher than the real 1RM value (7.93% higher with the Mayhew formula and 16.98% higher with the Wathen formula). Only in the case of the values estimated by the Mayhew et al. (1992) formula in the second evaluation of the nonlinear periodisation group the estimated 1-RM value was lower than the real 1RM value.

Tables 2 and 3 show the descriptive results for the real and estimated 1RM obtained for all the women evaluated according to their training group in the initial and final tests.

Group		1RM1	MAYH1	WATHEN1
CLPG	Mean	72.38	69.72	74.42
	N	12	12	12
	Stan. Dev.	17.79	14.40	18.25
NLPG	Mean	81.06	92.09	99.95
	N	11	11	11
	Stan. Dev.	17.33	10.45	10.53
CG	Mean	71.64	81.05	88.51
	N	5	5	5
	Stan. Dev.	18.44	13.81	15.40
Total	Mean	75.66	80.53	86.96
	N	28	28	28
	Stan. Dev.	17.61	16.11	18.73

Table 2. Mean values obtained for real 1RM (1RM1) and estimated 1RM from Mayhew et al (1992) and Wathen (1994), initial for the women evaluated (pounds)

Group		1RM2	MAYH2	WATHEN2
CLPG	Mean	83.40	95.21	103.74
	N	12	12	12
	Stan. Dev.	13.56	22.23	25.42
NLPG	Media	102.11	97.33	105.52
	N	11	11	11
	Stan. Dev.	13.29	19.08	21.77
CG	Media	76.05	98.02	104.84
	N	5	5	5
	Stan. Dev.	17.42	14.47	12.33
Total	Media	89.44	96.54	104.63
	N	28	28	28
	Stan. Dev.	17.32	19.20	21.49

Table 3. Mean values obtained for real 1RM (1RM1) and estimated 1RM, from Mayhew et al (1992) and Wathen (1994), final for the women evaluated (pounds)

The figures 1 and 2 also show these differences clearly.

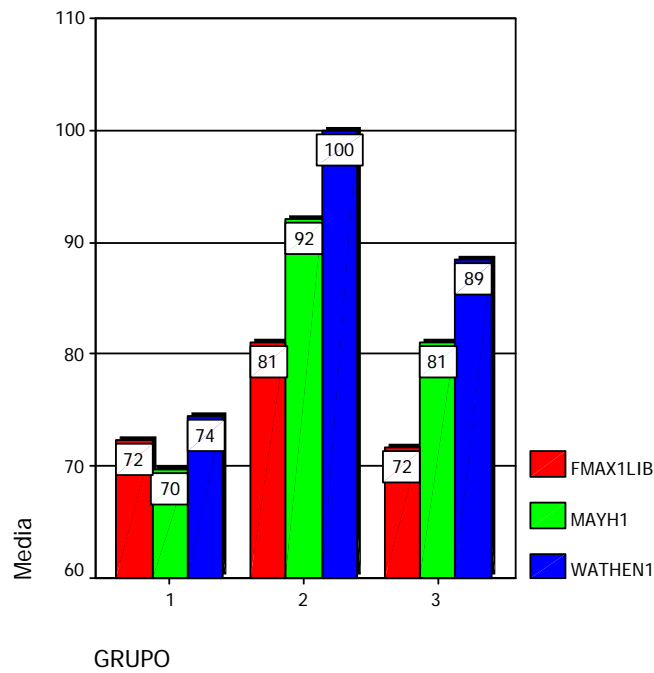


Figure 1. Mean values obtained for real IRM (IRMI) and estimated IRM (Mayhew et al., 1992; Wathen, 1994) in the initial test by training groups (1:CLPG, 2:NLPG, 3:CG)
Media: Mean; GRUPO: GROUP

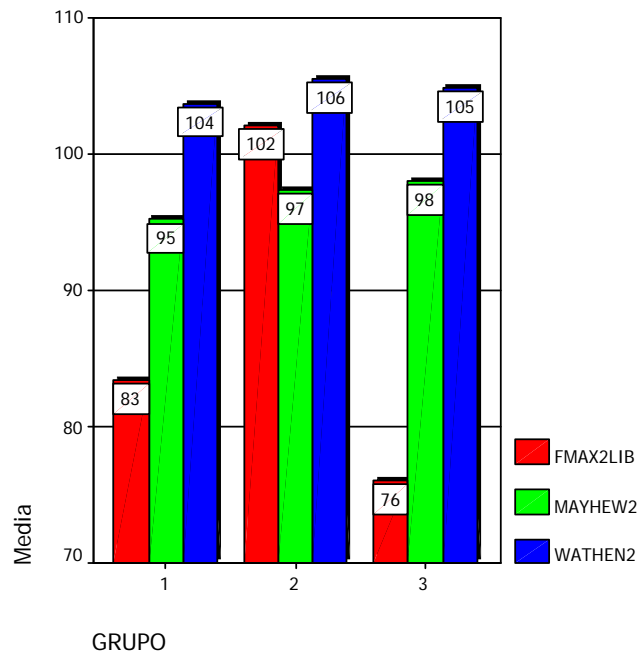


Figure 2. Mean values obtained for real IRM (IRMI) and estimated IRM (Mayhew et al., 1992; Wathen, 1994) in the final test by training groups (1:CLPG, 2:NLPG, 3:CG)
Media: Mean; GRUPO: GROUP

Therefore, according to these results, we have to point out that, in our sample of active middle-aged women, the Mayhew (1992) and Wathen (1994) formulas generally overestimated the 1-RM values obtained in both evaluations (initial and final).

However, these prediction equations were designed to predict the maximum strength values of a specific individual, not of a sample, meaning that the really important thing would be to identify the *predictive value* of the formulas for our sample.

We therefore carried out an individual analysis of this predictive capacity and obtained two dispersion charts with the real 1RM values located on the X-axis and the values of the Mayhew (1992) and Wathen (1994) estimates on the Y-axis – for both the initial and final evaluation with the RM test.

These charts are shown in Figures 3 and 4 below.

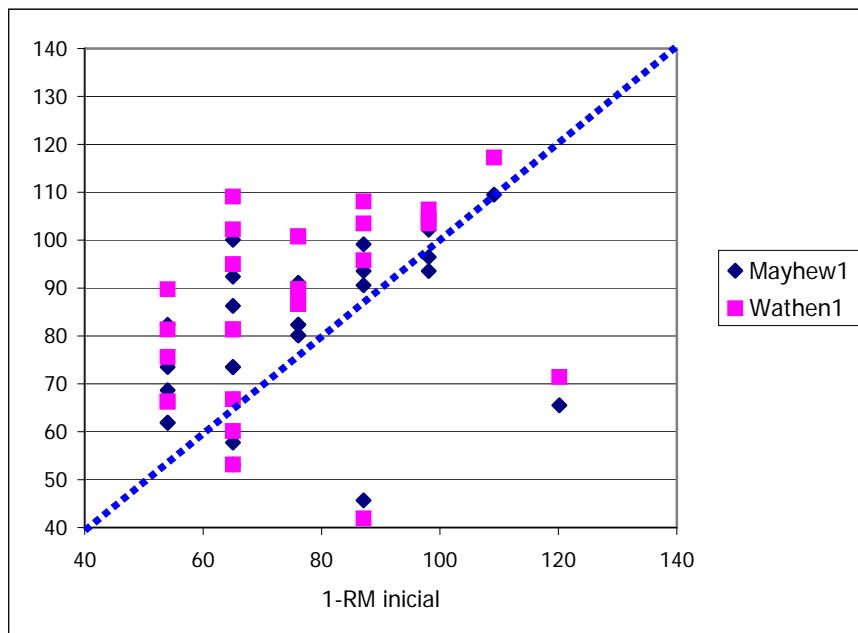


Figure 3. Dispersion between the initial 1-RM and the Mayhew (1992) and Wathen (1994) estimates (1-RM inicial: Initial 1-RM).

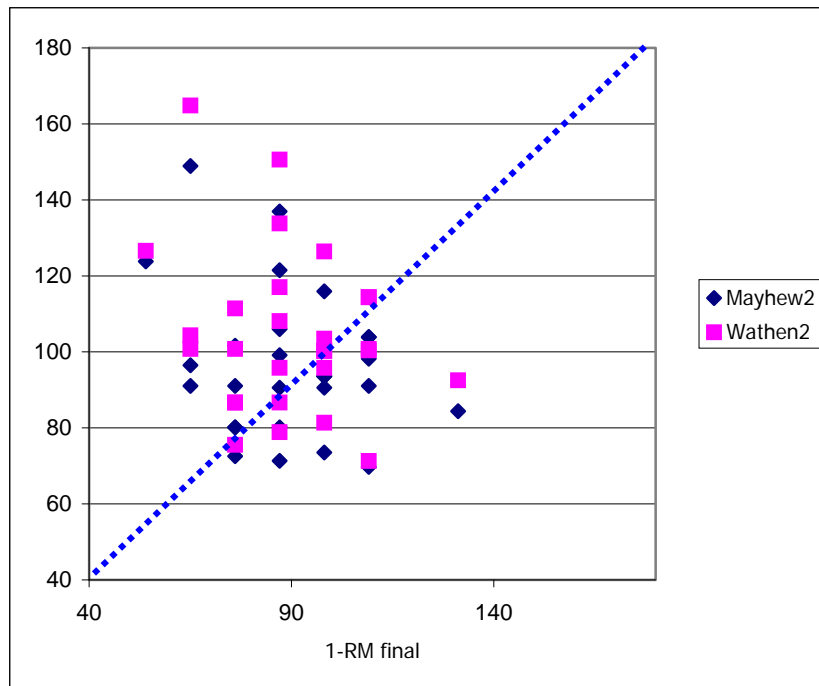


Figure 4. Dispersion between the final 1-RM and the Mayhew (1992) and Wathen (1994) estimates.

As we can see in Figure 3, when we apply the Mayhew formula and contrast its predictive value for the 1RM at the start of the study, the prediction result overestimates the real values for most of the women (21), estimates the same values for 6 participants, and clearly agree only in one. With the Wathen estimation, the formula overestimates in 24 cases and underestimates in 4.

If we carry out the same analysis with the second assessment developed after 8 weeks of resistance training (Figure 4), we can see how the Mayhew formula overestimates the 1RM values of 15 women and underestimates 13, while the Wathen formula overestimates the real 1RM values in 19 cases and underestimates them in 9.

It is very important to take this fact into account when prescribing training loads and specially when making indirect 1RM assessments, because their predictive value is clearly uncertain, at least for active women between 30 and 40 years old, especially after an increase on their training level and performance.

CONCLUSIONS

1. In this study, we have attempted to clarify whether the predictive value of these formulas varies according to the muscular strength of the subjects and the predictive error has shown itself to be independent of the level of muscular strength.
2. We were struck by the fact that, in the numerous studies reviewed that deal with the predictive value of these estimates, individual predictive value has not been taken into account, and only the overall predictive value for the group has been applied (the value of the mean obtained).

3. However, and in the light of future research, we believe that it would be interesting to carry out an in-depth analysis of the possibility of improving the predictive capacity of these regression equations, especially for untrained subjects, adding certain anthropometric variables to the same, as suggested by Cummings and Finn (1998) in the conclusions to one of their works.

REFERENCES

1. ABERNETHY, P., G. WILSON, P. LOGAN. Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med.* 19:401-417, 1995.
2. ALGRA, B. An in-depth analysis of the bench-press. *NSCA J.* 3: 6-11, 70-72, 1982.
3. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Position Stand on Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol. 34, No. 2, pp. 364-380, 2002.
4. ARNOLD, M.D., J.L. MAYHEW, D. LESUER, J. McCORMICK. Accuracy of predicting bench press and squat performance form repetitions at low and high intensity. *J. Strength and Cond. Res.*, 9: 205-206, 1995 (abstract).
5. ARTHUR, M. NSCA test and measurements survey results. *NSCA J.* 3: 38A-38C, 1982.
6. ATHA, J. Strengthening muscle. In: *Exercise and Sports Sciences Review* (Vol.9), D.I. Miller, ed. Philadelphia: Franklin Institute Press, pp.1-73, 1981.
7. BAECHLE, T.R. Ed. *Essentials of Strength Training and Conditioning* (NSCA). Human Kinetics, Champaign, Illinois 1994.
8. BALL, T.E., K.S. ROSE. A field test for predicting maximum bench press lift of college women. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 5:169-170, 1991.
9. BOSCO, C. *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. INDE, Barcelona, 2000.
10. BOSCO, C., and P. KOMI,. Influence of aging in the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45: 209-219, 1980.
11. BOSCO, C., J. TIHANY, A. VIRU. Relationships between field fitness test and basal serum testosterone and cortisol levels in soccer players. *Clinical Physiol.* 16: 317-332, 1996.
12. BOSCO, C., J. TIHANY, L. RIVALTA, G. PARLATO, C. TRANQUILLI, G. PULVIRENTI, C. FOTI, M. VIRU, A. VIRU. Hormonal responses in strenuous jumping effort. *Jpn J. Physiol.*, 46 (1), 1996.
13. BOSCO, C., R. BONOMI, R. COLLI, R. POZZO, G. PULVIRENTI, O. TSARPELA, C. TRANQUILLI, J. TIHANYI, A. VIRU. Relación entre testosterona y comportamiento muscular en velocistas de ambos sexos, (1996). En: *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. BOSCO, C. INDE, Barcelona, 2000.
14. BOSCO, C., R. COLLI, R. BONOMI, S.P. VON DUVILLARD, A. VIRU, (1996). En: *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. BOSCO, C. INDE, Barcelona, 2000.
15. BROWN, L.E., J.P. WEIR. Accurate Assessment of Muscular Strength & Power, ASEP Procedures Recommendation, *Journal of Exercise Physiology*, vol 4. n° 3, 2001.
16. BRZYCKI, M. Strength testing: predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *JOPERD*, 64:88-90, 1993.

17. CHANDLER, J., R. DUNCAN, S. STUDENSKY. Choosing the best strength measure in frail older persons: Importance of task specificity. *Muscle and Nerve*, Suppl.5: S47-S51, 1997.
18. CHAPMAN, P.P., J.R. WHITEHEAD, R.H. BINKERT. The 225-lb reps-to-fatigue test as a submaximal estimate of 1-RM bench-press performance in college football players. *J. Strength Cond. Res.* 12:258-261, 1998.
19. CUMMINGS, B., K.J. FINN. Estimation of a one repetition maximum bench press for untrained women. *J. Strength Cond. Res.* 12:262-265, 1998.
20. EPLEY, B. *Poundage chart. Body Epley Workout*. Lincoln, NE, 1985.
21. GONZÁLEZ BADILLO, J.J. La planificación y organización del entrenamiento de la fuerza. *V Congreso Internacional sobre Entrenamiento de la fuerza: el entrenamiento de la fuerza como factor clave del rendimiento deportivo*. León, octubre 1998.
22. GONZÁLEZ BADILLO, J.J. Modelos de planificación y programación en deportes de fuerza y velocidad. *Máster Alto Rendimiento Deportivo*. Madrid: COE-UAM, 1998.
23. GONZÁLEZ BADILLO, J.J., E. GOROSTIAGA. *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo*. INDE, Barcelona 1995.
24. HOEGER, W.W.K., S.L. BARETTE, D.F. HALE, D.R. HOPKINS. Relationships between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 1 :11-13, 1987.
25. HOEGER, W.W.K., D.R. HOPKINS, S.L. BARETTE, D.F. HALE. Relationships between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 4:47-54, 1990.
26. INVERGO, J.J., T.E. BALL, M. LOONEY. Relationship of push-ups and absolute muscular endurance to bench press strength. *J. Appl. Sports Sci. Res.*, 5:121-125, 1991.
27. JIMÉNEZ, A. *La aptitud músculo-esquelética y su relación con la salud: Estudio de la aptitud músculo-esquelética, nivel de actividad física y relaciones con el comportamiento en una población físicamente activa, y Efectos a corto plazo de dos modelos de periodización del entrenamiento de la fuerza en mujeres*. Tesis Doctoral. Departamento de Fisiología, Universidad de León, 2003.
28. JIMÉNEZ, A. Entrenamiento de Fuerza y Salud: Efectos Positivos de los Cambios producidos por el Entrenamiento de Fuerza sobre la Salud. *PubliCE Standard*. 11/12/2006. Pid: 746.
29. JIMÉNEZ, A., DE PAZ, J. A., AZNAR, S. Aspectos metodológicos del entrenamiento de la fuerza en el campo de la salud. *Lecturas EF y Deportes, Revista digital*. Nº 61, Junio 2003.
30. JIMÉNEZ, A. *Fuerza y Salud. La aptitud músculo-esquelética, el entrenamiento de fuerza y la salud*. Editorial Ergo, Barcelona, 2003.
31. KNUTGEN, H.G., W.J. KRAEMER. Terminology and measurement in exercise performance. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 1 :1-10, 1987.
32. KNUTZEN, K.M., L.R. BRILLA, D. CAINE. Validity of 1-RM prediction equations for older adults. *J. Strength Cond. Res.* 13:242-246, 1999.
33. KRAEMER, W.J., A.C. FRY. Strength testing: development and evaluation of methodology. In: Maud. P.J. And Foster C., editors. *Physiological Testing of Human Fitness*, Champaign IL: Human Kinetics, 1991.

34. KROEMER, K.H.E. Assessment of human muscle strength for engineering purposes: a review of the basics. *Ergonomics* 42(1):74-93, 1999.
35. KROLL, W. Reliability of a selected measure of human strength. *Res. Quart for Ex. And Sport.* 33:410-417, 1962.
36. LANDER, J. Maximums based on reps. *NSCA J.* 6:60-61, 1985.
37. LESUER, D.A., J.H. McCORMICK, J.L. MAYHEW, R.L. WASSERTEIN, M.D. ARNOLD. The accuracy of predictions equations for estimating 1-RM performance in bench press, squat, and dead-lift. *J. Strength and Cond. Res.*, 11(4):211-213, 1997.
38. LOMBARDI, V.P. *Beginning Weight Training.* Dubuque, IA: W.C. Brown, 1989.
39. MAYHEW, J.L., J.C. CLEMENS, K.L. BUSBY, J.S. CANNON, J.S. WARE, J.C. BOWEN. Cross-validation of equations to predict 1-RM bench press form repetitions-to-failure. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27:S209, 1995.
40. MAYHEW, J.L., J.L. PRINSTER, J.S. WARE, D.L. ZIMMER, J.R. ARBAS, M.G. BEMBEN. Muscular endurance repetitions to predict bench press strength in men of different training levels. *J. Sports Med. Phy. Fitn.* 35:108-113, 1995.
41. MAYHEW, J.L., J.R. WARE, J.L. PRINSTER. Using lift repetitions to predict 1-RM in three upper body exercises. *J. Strength and Cond. Res.* 9:283, 1995.
42. MAYHEW, J.L., J.R. WARE, J.L. PRINSTER. Using lift repetitions to predict muscular strength in adolescent males. *NSCA J.* 15:35-38, 1993.
43. MAYHEW, J.L., J.S. WARE, M.G. BEMBEN, B. WILT, T.E. WARD, B. FARRIS, J. JURASZEC, J.P. SLOVAK. The NFL-225 test as a measure of bench press strength in college football players. *J. Strength Cond. Res.* 13:130-134, 1999.
44. MAYHEW, J.L., T.E. BALL, M.D. ARNOLD, J.C. BOWEN. Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 6 :200-206, 1992.
45. McARDLE, W.D., F.I. KATCH, V.L. KATCH. *Exercise physiology. Energy, nutrition and human performance (4th edition).* Baltimore MD, Williams and Wilkins, 1996.
46. O'CONNER, B., J. SIMMONS P. O'SHEA. *Weight training today.* St. Paul, MN: West Publ., 1989.
47. SALE, D.G. Testing strength and power. In: MacDougall J.D., Wenger H.A., Green H.J., editors. *Physiological Testing of the High Performance Athlete (2nd Ed.)* Champaign IL: Human Kinetics, 1991.
48. SCHMIDTBLEICHER, D. Training for power events. In: *Strength and Power in Sport*, P. V. Komi (Ed.). Boston: Blackwell Scientific Publications, 1992, pp. 381-395.
49. SIFF, M.C., Y.V. VERKHOSHANSKY. *Supertraining. Special Strength Training for Sporting Excellence.* Escondido, CA: Sport Training, 1996.
50. STONE, H.S., H.S. O'BRYANT. *Weight training: a scientific approach.* Minneapolis, MN: Bellweather Press, 1987
51. TOUS, J. *Nuevas Tendencias en Fuerza y Musculación.* Ergo, Barcelona, 1999.
52. TOUS, J., G. MORAS. Control del entrenamiento de la fuerza mediante el número de repeticiones realizado por bloques de tiempo. Libro de *Actas del IV Congreso de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, INEFC Lleida, 1999.
53. TOUS, J., G. MORAS. Control y Periodización del entrenamiento de la fuerza. En: *Nuevas Tendencias en Fuerza y Musculación.* Tous, J. Ergo, Barcelona, pp: 151-181, 1999.

54. WAGNER, LL., S.A. EVANS, J.P. WEIR, ET AL. The effect of grip width on bench press performance. *Int. J. Sport Biomech.* 8: 1-10, 1992.
55. WARE, J.S., C.T. CLEMENS, J.L. MAYHEW, T.L. JOHNSTON. Muscular endurance repetitions to predict bench press and squat strength in college football players. *J. Strength Cond. Res.* 9:99-103, 1995.
56. WATHEN, D. Load assignment. In: *Essentials of Strength Training and Conditioning*. T.R. Baechle (ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, pp: 435-439, 1994.
57. WEIR, J.P.L.L. WAGNER, ML. HOUSH. The effect of rest interval length on repeated maximal bench presses. *J. Strength Cond. Res.*, 8:58-60, 1994.
58. WILSON, G. Strength and Power Assessment. In: *Applied Anatomy and Biomechanics in Sports*, Bloomfield, Ackland, Elliott (eds), Blackwell Science Asia, pp: 1-24, 1994.
59. YOUNG, W. Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics* 10(1):89-96, 1995.

Journal of Human Sport and Exercise *online*

J. Hum. Sport Exerc.

Official Journal of the Area of Physical Education and Sport.

Faculty of Education. University of Alicante. Spain

ISSN 1699-1605

An International Electronic Journal
Volume 3 Number 1 January 2008

APLICACIÓN DE LAS FÓRMULAS DE ESTIMACIÓN DEL VALOR DE 1RM EN FUNCIÓN DE RM EN PRESS DE BANCA EN UN GRUPO DE MUJERES DE MEDIANA EDAD FÍSICAMENTE ACTIVAS

Jiménez, A. ¹, De Paz, J. A. ²

¹Departamento de Fundamentos de la Motricidad y del Entrenamiento Deportivo, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Europea de Madrid.

²Departamento de Fisiología, INCAFD, Universidad de León.

Contacto:

alfonso.jimenez@uem.es

RESUMEN

El test de 1RM es la medición estándar para valorar la fuerza isotónica. No obstante, este tipo de prueba consume mucho tiempo, puede exponer a los sujetos que son evaluados a un mayor riesgo de lesión, etc. La literatura especializada reconoce que la utilización de un procedimiento que requiera una carga menor de 1RM para estimar la fuerza máxima de los sujetos tiene, indudablemente, un gran atractivo. Así, los tests de RM son la herramienta más comúnmente utilizada con la población general. Con la intención de comprobar estos planteamientos entre la población femenina española, 28 mujeres activas fueron evaluadas en su 1RM y RM antes y después de 8 semanas de entrenamiento. Los resultados obtenidos ponen en duda el valor predictivo de las fórmulas más habituales, especialmente respecto a su valor predictivo individual.

Palabras clave: fuerza muscular, valoración, estimación, número de repeticiones, mujeres.

INTRODUCCIÓN

El test de 1RM es la medición estándar para valorar la fuerza isotónica. Ahora bien, este tipo de valoraciones consumen mucho tiempo, y además, se ha sugerido que el test de 1RM puede exponer a los sujetos que son evaluados a un mayor riesgo de lesión (Chapman et al., 1998). Por ello, se han desarrollado múltiples estimaciones para desde un test submáximo poder predecir la 1RM, traduciéndose estas estimaciones en numerosas fórmulas de predicción de la misma que son empleadas de forma habitual para la prescripción del entrenamiento de fuerza.

Por otra parte, realizar la elevación de una carga correspondiente a 1-RM requiere una gran concentración y conlleva una considerable preparación mental del sujeto. Para un principiante, intentar levantar este peso puede ser demasiado intenso y puede producirle inseguridad y miedo. Aunque realmente no existen datos en relación al riesgo de lesión producido por estas pruebas, el potencial de riesgo puede estar muy aumentado por el efecto de utilizar cargas muy pesadas (Mayhew, Ball, Arnold, Bowen, 1992).

La utilización de un procedimiento que requiera una carga menor de 1RM para estimar la fuerza máxima de los sujetos tiene, indudablemente, un gran atractivo (Mayhew, Ball, Arnold, Bowen, 1992).

Además, este tipo de pruebas pueden reducir significativamente el tiempo empleado para la valoración. Así, en el estudio de Chapman et al. (1998), referido anteriormente, sólo un examinador y dos horas y media fueron necesarias para evaluar la fuerza de los 98 jugadores de fútbol americano.

No obstante, Hoeger et al., han cuestionado el uso de la capacidad de resistencia relativa con cargas equivalentes al 40, 60 y 80% de 1RM para estimar la máxima capacidad de fuerza en varios ejercicios con mancuernas (Hoeger, Barette, Hale, Hopkins, 1987; Hoeger, Hopkins, Barette, Hale, 1990). Las investigaciones indican que los sujetos más fuertes podrían realizar más repeticiones a un determinado porcentaje de 1-RM que los débiles.

Por otro lado, otros estudios han demostrado que las cargas ligeras movilizadas hasta la fatiga, a un ritmo de una repetición cada dos segundos, pueden predecir muy ajustadamente la fuerza máxima en el press de banca (Ball, Rose, 1991; Invergo, Ball, Looney, 1991).

La predicción de 1RM en el press de banca

El press de banca es uno de los ejercicios más populares en un programa de entrenamiento de fuerza y es utilizado tanto por sujetos experimentados como por principiantes. El ejercicio requiere la flexión controlada de los brazos (con una barra equipada con discos a ambos lados) desde la extensión en posición de tendido supino en un banco horizontal, seguida de una extensión de los mismos elevando de nuevo el peso desde la línea del pecho (Algra, 1982). Cuando se realizan valoraciones de la fuerza máxima (1RM), el press de banca es uno de los ejercicios primarios y fundamentales a utilizar (Arthur, 1982).

Existen dos tipos de test de predicción para valorar 1RM en press de banca. En el primer tipo, los sujetos realizan las máximas repeticiones posibles con un peso que es un porcentaje de su 1RM estimada (test de carga relativa). En el otro caso, todos los sujetos son evaluados con la misma carga (test de carga absoluta). El test más común de carga absoluta implica realizar el máximo número de repeticiones posibles con una carga de 225 libras. Al ser este un test muy utilizado en la Liga Nacional de Fútbol Americano (NFL), ha sido denominado como el Test NFL-225 (Mayhew, Ware, Bembem, Wilt, Ward, Farris, Juraszek, Slovak, 1999). Esta prueba también es utilizada con otros deportistas de nivel universitario.

En los últimos años se han publicado una gran variedad de artículos científicos en relación a las ecuaciones de predicción para la estimación de 1RM en press de banca, y muchos de ellos fueron revisados y evaluados por LeSuer et al. (1997). Resumiendo su trabajo, podemos señalar que fueron evaluadas siete ecuaciones de predicción, realizando una validación transversal, con una muestra de 67 estudiantes universitarios (de los que 27 eran mujeres). Las ecuaciones analizadas fueron las de Bryzcki (1993), Epley (1985), Lander (1985), Lombardi (1989), Mayhew et al. (1992), O'Conner et al., (1989) y Wathen (1994), que aparecen recogidas en la tabla 1:

Autor	Ecuación predicción 1-RM
Bryzcki (1993)	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{rep wt} / (102,78 - 2,78 \cdot \text{reps})$
Epley (1985)	$1\text{-RM} = (1 + ,0333 \cdot \text{reps}) \cdot \text{rep wt}$
Lander (1985)	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{rep wt} / (101,3 - 2,67123 \cdot \text{reps})$
Lombardi (1989)	$1\text{-RM} = \text{rep wt} \cdot (\text{reps})^{**}.1$
Mayhew et al. (1992)	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{rep wt} / (52,2+41,9 \cdot \exp (-,055 \cdot \text{reps}))$
O'Conner et al. (1989)	$1\text{-RM} = \text{rep wt} (1 + ,025 \cdot \text{reps})$
Wathen (1994)	$1\text{-RM} = 100 \cdot \text{rep wt} / (48,8+53,8 \cdot \exp (-,075 \cdot \text{reps}))$

Tabla 1. Ecuaciones de estimación de 1RM analizadas por LeSuer et al. (1997)

Los resultados de este estudio revelaron que todos los coeficientes de correlación entre la fuerza máxima alcanzada y la estimada con cada ecuación fueron altos ($r > 0,95$). No obstante, en el caso del press de banca, las significativamente más rigurosas fueron la de Mayhew et al. (1992) y en la de Wathen (1994).

Estos resultados también concordaron con los hallazgos existentes previamente en relación al rendimiento de hombres y mujeres. Así, las ecuaciones de Mayhew et al. (1992) y Wathen (1994) eran mejores predictoras de la fuerza en press de banca de los hombres que todas las demás. Este hallazgo también coincide con otro estudio, realizado por Prinster et al. (1993), en donde la fórmula de Mayhew et al. (1992) fue la más adecuada para la estimación de 1RM en varones universitarios.

Por su parte, Brzycki (1993) y Ware et al. (1995) señalaron que para obtener la mejor estimación de 1-RM lo ideal era realizar menos de 10 repeticiones para alcanzar la fatiga.

En este sentido, y en relación al ejercicio que mejor se adaptaba a este sistema de cálculo de 1RM, Arnold et al. (1995) y Ware et al. (1995) consideraron que las ecuaciones de predicción eran más fiables para el press de banca que para la sentadilla. Además, Arnold et al. (1995), manifestaron, en cuanto a la carga desplazada, que las cargas en torno al 85% de 1RM eran más fiables para predecir la fuerza máxima que otras menores (65% 1RM).

Mayhew et al. (1993) y Wathen (1994) establecieron una relación curvilínea entre 1RM y el número de repeticiones hasta el fallo. La mayor caída en el porcentaje de 1RM se producía entre 1 y 2 repeticiones. A partir de este punto la relación de 3 a 10 repeticiones con el porcentaje de 1RM aparecía relativamente lineal.

De todas formas, y a pesar de esta relación lineal, las ecuaciones analizadas en el estudio de LeSuer et al. (1997) tendían a subestimar la carga levantada. Como punto final de este estudio comparativo, los autores determinaron, como más efectivo, un tiempo de recuperación entre series de 10 minutos en estas sesiones de estimación de 1RM (LeSuer et al., 1997).

Otro estudio de revisión (Knutzen, Brilla, Caine, 1999) concluyó que la ecuación de Wathen (1994) obtuvo los mejores resultados a la hora de calcular la fuerza máxima (en diferentes ejercicios del tren superior, incluido el press de banca) en personas mayores.

Por su parte, Tous (1999), cita otro estudio que también analizó la precisión de las mismas fórmulas para predecir la 1RM. Se trata del trabajo de Wood et al. (1999), realizado con 49 adultos (53,5±3,3 años) sanos sedentarios empleando máquinas Hammer (resistencia fija). Según Tous, este autor encontró que las fórmulas de Brzycki y Lander provocaban un error inaceptable, superior al 75% en la prensa de piernas y en la extensión de tríceps cuando las repeticiones hasta la fatiga superaban las 30. Por el contrario, las fórmulas de Epley y Wathen produjeron un error menor, entre un 13 y un 22%, en todo el rango de repeticiones hasta la fatiga. Finalmente, se llegó a conclusiones parecidas a las de los estudios de Mayhew et al. (1995); cuando las repeticiones hasta la fatiga eran menores de 10, las fórmulas produjeron un error similar, pero las de Epley y Wathen proporcionaron el menor error en todos los ejercicios y en todo el rango de repeticiones hasta la fatiga.

Por último, y como aspecto interesante a considerar y analizar en profundidad en el futuro, al parecer se puede mejorar la capacidad de predicción de estas ecuaciones de regresión, especialmente en sujetos no entrenados, añadiendo algunas variables antropométricas a las mismas (Cummings, Finn, 1998).

MATERIAL Y MÉTODO

Diseño: Tras la selección de un grupo de mujeres de mediana edad físicamente activas no entrenadas en fuerza, las candidatas completaron un periodo de familiarización de seis sesiones para el aprendizaje de la técnica del ejercicio básico del programa, el *press* de banca. A continuación, completaron dos sesiones de valoración de su fuerza máxima (1RM), una de familiarización y otra de registro, siguiendo el protocolo de la ASEP (Brown, Weir, 2001). En estas sesiones se utilizó un transductor de velocidad para valorar tanto su 1RM como sus RM. Tras la valoración inicial fueron asignadas

aleatoriamente a uno de los tres grupos del estudio: grupo 1: periodización lineal clásica; grupo 2: periodización no lineal; grupo 3: grupo control.

Los grupos 1 y 2 completaron 8 semanas de entrenamiento individualizado, con tres sesiones semanales (24 sesiones). Durante este periodo completaron un diario de entrenamiento y la relación de cargas utilizadas en cada sesión. Mientras tanto, el grupo 3 continuó con su actividad física normal. Transcurridas estas 8 semanas las participantes fueron nuevamente evaluadas (1RM y RM) con el mismo protocolo.

Muestra: Un grupo de mujeres (n=28), con edades comprendidas entre los 30 y los 40 años de edad (X:35.32; SD:3.04). Fueron reclutadas entre las usuarias del Centro Deportivo del Estadio de la Comunidad, en Madrid (Avda. Arcentales, s/n. Madrid 28022). El requisito inicial de acceso al estudio para las participantes fue que llevaran al menos 6 meses de práctica continua, en alguno de los programas de actividades del centro. Ninguna de las participantes tenía experiencia previa en el entrenamiento específico de fuerza, aunque eran físicamente activas.

Las valoraciones de la fuerza muscular (tests de 1RM y RM), de familiarización, previa y posterior al programa de entrenamiento, fueron realizadas siguiendo las Recomendaciones Oficiales de la Asociación de Fisiólogos del Ejercicio de EEUU (ASEP, *American Society of Exercise Physiologists*), en un protocolo, publicado en su revista *Journal of Exercise Physiology On Line*, por Brown y Weir (2001). Todas las valoraciones se realizaron en el Centro de Medicina Deportiva de la Comunidad de Madrid, en una sala dedicada específicamente a esta cualidad. Las pruebas fueron dirigidas por el responsable del proyecto, con la presencia siempre en el centro de al menos un médico.

Análisis estadístico: Se procedió inicialmente al análisis de la distribución de cada variable para ver si cumplía los criterios de normalidad. Los análisis descriptivos de los resultados obtenidos en este estudio fueron realizados con media y desviación típica. Todo el análisis de los resultados ha sido desarrollado utilizando la herramienta informática estándar SPSS para Windows (versión 11.0).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Las estimaciones de 1RM consideradas más válidas por la literatura (Lesuer et al., 1997) para obtener la fuerza máxima en el press de banca en función del número de repeticiones son las realizadas utilizando las fórmulas de Mayhew (1992) y Wathen (1994). De esta forma, partiendo de los resultados obtenidos en el test de máximas repeticiones, fueron calculadas ambas estimaciones de 1RM en cada sujeto.

Los resultados obtenidos mostraron como, en el test inicial, el valor de 1RM real fue menor que la 1RM estimada, alcanzando una diferencia del 6,43% entre la 1RM y la estimación de Mayhew, y del 14,19% respecto a la estimación de Wathen. Tras el periodo de entrenamiento, los valores de ambas estimaciones en el total de mujeres evaluadas siguieron siendo superiores a la 1RM real (7,93% superior con la fórmula de Mayhew, y 16,98% superior con la fórmula de Wathen). Tan sólo en el caso de los valores estimados por la fórmula de Mayhew et al. (1992) en la segunda valoración del

grupo de periodización no lineal, el valor estimado de 1-RM fue menor que la 1RM real.

En las tablas 2 y 3 se presentan los resultados descriptivos obtenidos en el total de mujeres evaluadas en función de su grupo de entrenamiento en los tests inicial y final (en libras) de 1RM real y de las estimadas.

Grupo		1RM1	MAYH1	WATHEN1
GPLC	Media	72,38	69,72	74,42
	N	12	12	12
	Desv. típ.	17,79	14,40	18,25
GPNL	Media	81,06	92,09	99,95
	N	11	11	11
	Desv. típ.	17,33	10,45	10,53
GC	Media	71,64	81,05	88,51
	N	5	5	5
	Desv. típ.	18,44	13,81	15,40
Total	Media	75,66	80,53	86,96
	N	28	28	28
	Desv. típ.	17,61	16,11	18,73

Tabla 2. Valores medios obtenidos en 1RM real (1RM1) y estimada, según Mayhew et al (1992) y Wathen (1994), inicial en las mujeres evaluadas (libras)

Grupo		1RM2	MAYH2	WATHEN2
GPLC	Media	83,40	95,21	103,74
	N	12	12	12
	Desv. típ.	13,56	22,23	25,42
GPNL	Media	102,11	97,33	105,52
	N	11	11	11
	Desv. típ.	13,29	19,08	21,77
GC	Media	76,05	98,02	104,84
	N	5	5	5
	Desv. típ.	17,42	14,47	12,33
Total	Media	89,44	96,54	104,63
	N	28	28	28
	Desv. típ.	17,32	19,20	21,49

Tabla 3. Valores medios obtenidos en 1RM real (1RM2) y estimada, según Mayhew et al (1992) y Wathen (1994), final en las mujeres evaluadas (libras)

Del mismo modo, en las figuras 1 y 2 se pueden observar con claridad estas diferencias.

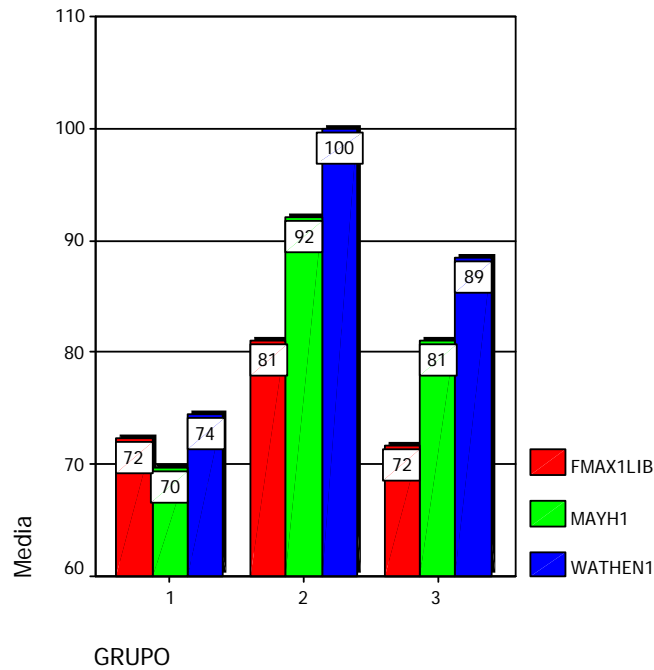


Figura 1. Valores medios de 1-RM real y estimada (Mayhew et al., 1992; Wathen, 1994) en el test inicial por grupos de entrenamiento (1:GPLC; 2:GPNL; 3:GC)

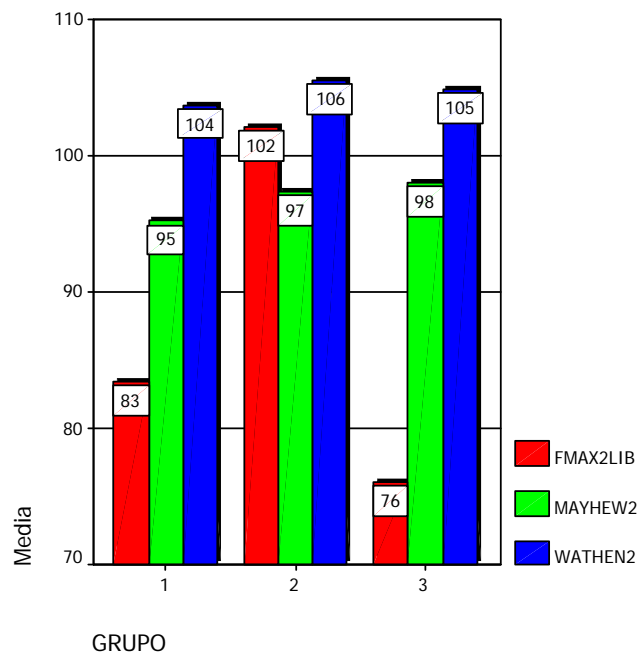


Figura 2. Valores medios de 1-RM real y estimada (Mayhew et al., 1992; Wathen, 1994) en el test final por grupos de entrenamiento (1:GPLC; 2:GPNL; 3:GC)

Por lo tanto, y en función de estos resultados, tendríamos que señalar que en nuestra muestra de mujeres activas de mediana edad las fórmulas de Mayhew (1992) y Wathen (1994) sobreestimaron en general los valores de 1-RM obtenidos por éstas en ambas valoraciones (inicial y final).

Sin embargo, estas ecuaciones de predicción han sido ideadas para predecir el valor de fuerza máxima de una persona concreta, no de una población, por lo tanto, lo que realmente tendría importancia sería conocer el *valor predictivo* de estas fórmulas para nuestra muestra.

Para ello realizamos un análisis individual de esta capacidad de predicción, en donde obtuvimos los dos diagramas de dispersión, con los valores reales de 1RM ubicados en el eje X y los valores, tanto de la estimación de Mayhew (1992) como de la de Wathen (1994), en el eje Y, de la valoración inicial y final con el test de RM.

Estos diagramas, aparecen representados gráficamente en las figuras 3. y 4., que presentamos a continuación.

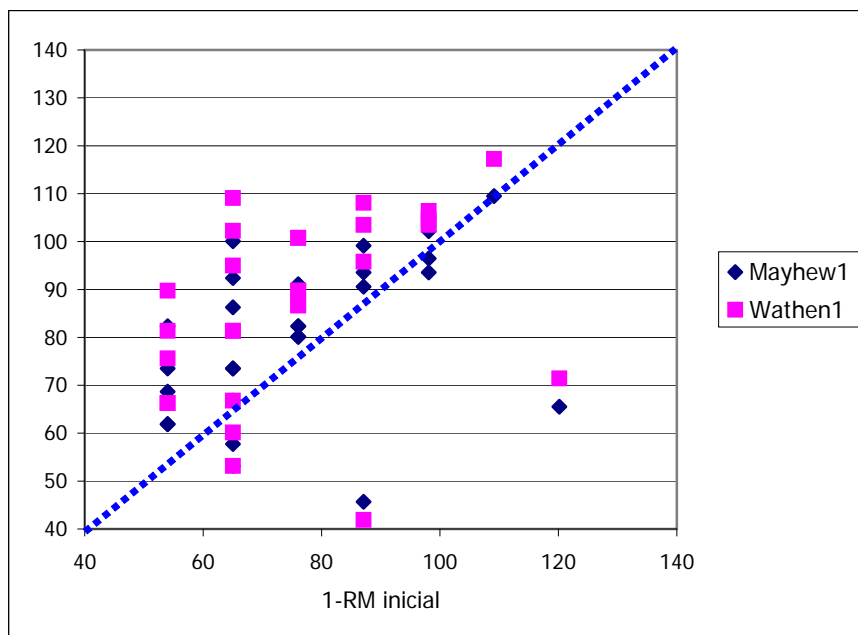


Figura 3. Dispersión entre 1-RM inicial y las estimaciones de Mayhew (1992) y Wathen (1994)

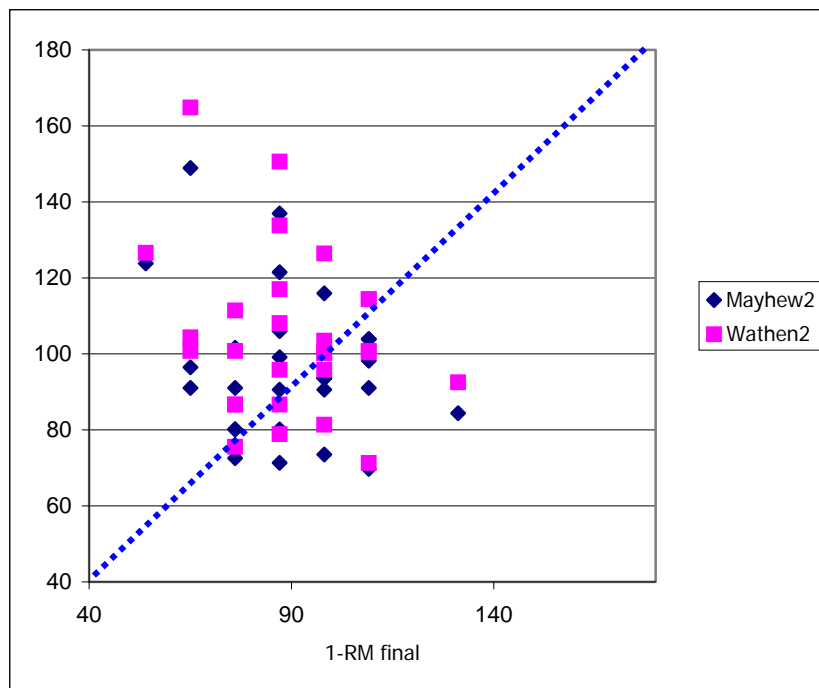


Figura 4. *Dispersión entre 1-RM final y las estimaciones de Mayhew (1992) y Wathen (1994)*

Como podemos observar en la figura 3, cuando aplicamos la fórmula de Mayhew y contrastamos su valor predictivo para 1RM al inicio del estudio, dicha predicción sobreestima los valores reales en la mayor parte de las mujeres (21), estima el mismo en 6 participantes, y coincide claramente en una de ellas. En el caso de la estimación de Wathen, su fórmula sobreestima en 24 casos y subestima en 4.

Si realizamos el mismo análisis en la segunda valoración, tras las 8 semanas de entrenamiento (figura 4.), podemos identificar cómo la fórmula de Mayhew sobreestima los valores de 1RM de 15 mujeres y subestima los de 13, mientras que la de Wathen sobreestima el valor real de la 1RM en 19 casos y lo subestima en otros 9.

La consideración de este hecho es de vital importancia a la hora de prescribir cargas de entrenamiento o a la hora de realizar valoraciones indirectas de 1RM, pues resulta claro que su valor predictivo, al menos en mujeres activas entre 30 y 40 años, es bastante dudoso, especialmente a medida que aumenta su nivel de entrenamiento.

CONCLUSIONES

1. En este trabajo hemos intentado aclarar si el valor predictivo de estas fórmulas variaba en función de la fuerza muscular de los sujetos, y el error predictivo se ha mostrado como independiente del nivel de fuerza muscular.
2. Nos ha llamado la atención el que en los numerosos estudios revisados en los que tratan sobre el valor predictivo de estas estimaciones no se haya tenido en cuenta el valor predictivo individual aplicándose únicamente el valor predictivo global del grupo (valor de la media obtenida).

3. En cualquier caso, y de cara a futuras investigaciones, consideramos que sería interesante analizar en profundidad la posibilidad de mejorar la capacidad de predicción de estas ecuaciones de regresión, especialmente en sujetos no entrenados, añadiendo algunas variables antropométricas a las mismas, como pusieron de manifiesto Cummings y Finn (1998) en las conclusiones de uno de sus trabajos.

REFERENCIAS

1. ABERNETHY, P., G. WILSON, P. LOGAN. Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med.* 19:401-417, 1995.
2. ALGRA, B. An in-depth analysis of the bench-press. *NSCA J.* 3: 6-11, 70-72, 1982.
3. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Position Stand on Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol. 34, No. 2, pp. 364-380, 2002.
4. ARNOLD, M.D., J.L. MAYHEW, D. LESUER, J. McCORMICK. Accuracy of predicting bench press and squat performance form repetitions at low and high intensity. *J. Strength and Cond. Res.*, 9: 205-206, 1995 (abstract).
5. ARTHUR, M. NSCA test and measurements survey results. *NSCA J.* 3: 38A-38C, 1982.
6. ATHA, J. Strengthening muscle. In: *Exercise and Sports Sciences Review* (Vol.9), D.I. Miller, ed. Philadelphia: Franklin Institute Press, pp.1-73, 1981.
7. BAECHLE, T.R. Ed. *Essentials of Strength Training and Conditioning* (NSCA). Human Kinetics, Champaign, Illinois 1994.
8. BALL, T.E., K.S. ROSE. A field test for predicting maximum bench press lift of college women. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 5:169-170, 1991.
9. BOSCO, C. *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. INDE, Barcelona, 2000.
10. BOSCO, C., and P. KOMI,. Influence of aging in the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45: 209-219, 1980.
11. BOSCO, C., J. TIHANY, A. VIRU. Relationships between field fitness test and basal serum testosterone and cortisol levels in soccer players. *Clinical Physiol.* 16: 317-332, 1996.
12. BOSCO, C., J. TIHANY, L. RIVALTA, G. PARLATO, C. TRANQUILLI, G. PULVIRENTI, C. FOTI, M. VIRU, A. VIRU. Hormonal responses in strenuous jumping effort. *Jpn J. Physiol.*, 46 (1), 1996.
13. BOSCO, C., R. BONOMI, R. COLLI, R. POZZO, G. PULVIRENTI, O. TSARPELA, C. TRANQUILLI, J. TIHANYI, A. VIRU. Relación entre testosterona y comportamiento muscular en velocistas de ambos sexos, (1996). En: *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. BOSCO, C. INDE, Barcelona, 2000.
14. BOSCO, C., R. COLLI, R. BONOMI, S.P. VON DUVILLARD, A. VIRU, (1996). En: *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. BOSCO, C. INDE, Barcelona, 2000.
15. BROWN, L.E., J.P. WEIR. Accurate Assessment of Muscular Strength & Power, ASEP Procedures Recommendation, *Journal of Exercise Physiology*, vol 4. nº 3, 2001.

16. BRZYCKI, M. Strength testing: predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *JOPERD*, 64:88-90, 1993.
17. CHANDLER, J., R. DUNCAN, S. STUDENSKY. Choosing the best strength measure in frail older persons: Importance of task specificity. *Muscle and Nerve*, Suppl.5: S47-S51, 1997.
18. CHAPMAN, P.P., J.R. WHITEHEAD, R.H. BINKERT. The 225-lb reps-to-fatigue test as a submaximal estimate of 1-RM bench-press performance in college football players. *J. Strength Cond. Res.* 12:258-261, 1998.
19. CUMMINGS, B., K.J. FINN. Estimation of a one repetition maximum bench press for untrained women. *J. Strength Cond. Res.* 12:262-265, 1998.
20. EPLEY, B. *Poundage chart. Body Epley Workout*. Lincoln, NE, 1985.
21. GONZÁLEZ BADILLO, J.J. La planificación y organización del entrenamiento de la fuerza. *V Congreso Internacional sobre Entrenamiento de la fuerza: el entrenamiento de la fuerza como factor clave del rendimiento deportivo*. León, octubre 1998.
22. GONZÁLEZ BADILLO, J.J. Modelos de planificación y programación en deportes de fuerza y velocidad. *Máster Alto Rendimiento Deportivo*. Madrid: COE-UAM, 1998.
23. GONZÁLEZ BADILLO, J.J., E. GOROSTIAGA. *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo*. INDE, Barcelona 1995.
24. HOEGER, W.W.K., S.L. BARETTE, D.F. HALE, D.R. HOPKINS. Relationships between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 1 :11-13, 1987.
25. HOEGER, W.W.K., D.R. HOPKINS, S.L. BARETTE, D.F. HALE. Relationships between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 4:47-54, 1990.
26. INVERGO, J.J., T.E. BALL, M. LOONEY. Relationship of push-ups and absolute muscular endurance to bench press strength. *J. Appl. Sports Sci. Res.*, 5:121-125, 1991.
27. JIMÉNEZ, A. *La aptitud músculo-esquelética y su relación con la salud: Estudio de la aptitud músculo-esquelética, nivel de actividad física y relaciones con el comportamiento en una población físicamente activa, y Efectos a corto plazo de dos modelos de periodización del entrenamiento de la fuerza en mujeres*. Tesis Doctoral. Departamento de Fisiología, Universidad de León, 2003.
28. JIMÉNEZ, A. Entrenamiento de Fuerza y Salud: Efectos Positivos de los Cambios producidos por el Entrenamiento de Fuerza sobre la Salud. *PubliCE Standard*. 11/12/2006. Pid: 746.
29. JIMÉNEZ, A., DE PAZ, J. A., AZNAR, S. Aspectos metodológicos del entrenamiento de la fuerza en el campo de la salud. *Lecturas EF y Deportes, Revista digital*. Nº 61, Junio 2003.
30. JIMÉNEZ, A. *Fuerza y Salud. La aptitud músculo-esquelética, el entrenamiento de fuerza y la salud*. Editorial Ergo, Barcelona, 2003.
31. KNUTGEN, H.G., W.J. KRAEMER. Terminology and measurement in exercise performance. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 1 :1-10, 1987.
32. KNUTZEN, K.M., L.R. BRILLA, D. CAINE. Validity of 1-RM prediction equations for older adults. *J. Strength Cond. Res.* 13:242-246, 1999.

33. KRAEMER, W.J., A.C. FRY. Strength testing: development and evaluation of methodology. In: Maud. P.J. And Foster C., editors. *Physiological Testing of Human Fitness*, Champaign IL: Human Kinetics, 1991.
34. KROEMER, K.H.E. Assessment of human muscle strength for engineering purposes: a review of the basics. *Ergonomics* 42(1):74-93, 1999.
35. KROLL, W. Reliability of a selected measure of human strength. *Res. Quart for Ex. And Sport*. 33:410-417, 1962.
36. LANDER, J. Maximums based on reps. *NSCA J.* 6:60-61, 1985.
37. LESUER, D.A., J.H. McCORMICK, J.L. MAYHEW, R.L. WASSERTEIN, M.D. ARNOLD. The accuracy of predictions equations for estimating 1-RM performance in bench press, squat, and dead-lift. *J. Strength and Cond. Res.*, 11(4):211-213, 1997.
38. LOMBARDI, V.P. *Beginning Weight Training*. Dubuque, IA: W.C. Brown, 1989.
39. MAYHEW, J.L., J.C. CLEMENS, K.L. BUSBY, J.S. CANNON, J.S. WARE, J.C. BOWEN. Cross-validation of equations to predict 1-RM bench press form repetitions-to-failure. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27:S209, 1995.
40. MAYHEW, J.L., J.L. PRINSTER, J.S. WARE, D.L. ZIMMER, J.R. ARBAS, M.G. BEMBEN. Muscular endurance repetitions to predict bench press strength in men of different training levels. *J. Sports Med. Phy. Fitn.* 35:108-113, 1995.
41. MAYHEW, J.L., J.R. WARE, J.L. PRINSTER. Using lift repetitions to predict 1-RM in three upper body exercises. *J. Strength and Cond. Res.* 9:283, 1995.
42. MAYHEW, J.L., J.R. WARE, J.L. PRINSTER. Using lift repetitions to predict muscular strength in adolescent males. *NSCA J.* 15:35-38, 1993.
43. MAYHEW, J.L., J.S. WARE, M.G. BEMBEN, B. WILT, T.E. WARD, B. FARRIS, J. JURASZEC, J.P. SLOVAK. The NFL-225 test as a measure of bench press strength in college football players. *J. Strength Cond. Res.* 13:130-134, 1999.
44. MAYHEW, J.L., T.E. BALL, M.D. ARNOLD, J.C. BOWEN. Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 6 :200-206, 1992.
45. McARDLE, W.D., F.I. KATCH, V.L. KATCH. *Exercise physiology. Energy, nutrition and human performance (4th edition)*. Baltimore MD, Williams and Wilkins, 1996.
46. O'CONNOR, B., J. SIMMONS P. O'SHEA. *Weight training today*. St. Paul, MN: West Publ., 1989.
47. SALE, D.G. Testing strength and power. In: MacDougall J.D., Wenger H.A., Green H.J., editors. *Physiological Testing of the High Performance Athlete (2nd Ed.)* Champaign IL: Human Kinetics, 1991.
48. SCHMIDTBLEICHER, D. Training for power events. In: *Strength and Power in Sport*, P. V. Komi (Ed.). Boston: Blackwell Scientific Publications, 1992, pp. 381-395.
49. SIFF, M.C., Y.V. VERKHOSHANSKY. *Supertraining. Special Strength Training for Sporting Excellence*. Escondido, CA: Sport Training, 1996.
50. STONE, H.S., H.S. O'BRYANT. *Weight training: a scientific approach*. Minneapolis, MN: Bellweather Press, 1987
51. TOUS, J. *Nuevas Tendencias en Fuerza y Musculación*. Ergo, Barcelona, 1999.

52. TOUS, J., G. MORAS. Control del entrenamiento de la fuerza mediante el número de repeticiones realizado por bloques de tiempo. Libro de *Actas del IV Congreso de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, INEFC Lleida, 1999.
53. TOUS, J., G. MORAS. Control y Periodización del entrenamiento de la fuerza. En: *Nuevas Tendencias en Fuerza y Musculación*. Tous, J. Ergo, Barcelona, pp: 151-181, 1999.
54. WAGNER, LL., S.A. EVANS, J.P. WEIR, ET AL. The effect of grip width on bench press performance. *Int. J. Sport Biomech.* 8: 1-10, 1992.
55. WARE, J.S., C.T. CLEMENS, J.L. MAYHEW, T.L. JOHNSTON. Muscular endurance repetitions to predict bench press and squat strength in college football players. *J. Strength Cond. Res.* 9:99-103, 1995.
56. WATHEN, D. Load assignment. In: *Essentials of Strength Training and Conditioning*. T.R. Baechle (ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, pp: 435-439, 1994.
57. WEIR, J.P.L.L. WAGNER, ML. HOUSH. The effect of rest interval length on repeated maximal bench presses. *J. Strength Cond. Res.*, 8:58-60, 1994.
58. WILSON, G. Strength and Power Assessment. In: *Applied Anatomy and Biomechanics in Sports*, Bloomfield, Ackland, Elliott (eds), Blackwell Science Asia, pp: 1-24, 1994.
59. YOUNG, W. Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics* 10(1):89-96, 1995.