·综述·

1次可重复最大力量评估方法的研究进展*

何 渊[1] 汪 伍[2] 王惠芳[3] 刘 敏[4,5]

1次可重复最大力量(one-repetition maximum,1-RM)定义为人体肌肉或肌群在单次最大努力中对抗施加阻力的能力[1—3]。 在运动训练中这一指标被用作标准负载单位。1-RM,具有较高的运动量量化精准度和较强的可操作性,且诸多研究使用%1-RM作为力量训练及效果评估的阻力设置单位[4—7]。因此1-RM测试通常被应用在运动训练、大众健身、康复治疗等领域。 随着数字化训练设备的发展应用,1-RM测试方法越来越多样化,同时准确度也越来越高。本文旨在探讨目前常用的1-RM测试方法及最新的研究进展,为康复评估与力量训练强度指标的量化和规范化训练提供依据。

1 力量训练的评估与测试

肌肉力量可以被定义为神经肌肉系统产生力来抵抗外力的能力。影响力量素质的因素有运动单位的募集、运动单位放电频率、运动单位同步化、拉长缩短周期、肌纤维类型、肌肉肥大程度等。以上这些影响肌肉力量的因素在一定程度上都可以通过不同的力量训练方式进行优化改善。力量训练已被证明在预防和控制疾病及促进健康方面具有重要价值。因此力量训练被广泛应用于大众健身、竞技体育、运动康复等领域。

客观量化肌肉力量对于指导力量训练、康复医学评定、工效学产品设计等具有重要意义,是开展这些工作的基础。%1-RM通常作为力量训练及效果评估的阻力设置单位,因此1-RM的评估是力量训练量化评估的基础性工作。

2 1-RM的测试方法

目前评估1-RM的方法主要有以下三类:①传统测试法;②回归方程间接推算法;③利用力与速度曲线估算法。其中传统测试法属于直接测试法,回归方程间接推算法和利用力与速度曲线估算属于间接测试法。

2.1 传统测试法

传统测试法即1次重复最大值测试,是评估肌肉群最大动态力量的金标准[8—17]。具体测试过程如下:①受试对象进行5min的准备活动,测试者在详细讲解动作要领及测试流程后,受试者再进行3—5次练习以熟悉动作要领,以尽可能消除因动作不熟练或对测试设备不熟悉而导致的测试误差[18—19];②准备活动结束后受试者休息1min;③测试开始时的负荷,一般以受试者3—5次重复重量作为起始负荷,负荷递增方法为:上肢力量测试每次增加原有负荷的5%—10%,下肢力量测试为10%—20%;④受试者原地休息2min;⑤再按以上方式增加负荷,负荷增加后受试者仍能够完成2—3次动作;⑥原地休息3—5min;⑦再按前序方式递增负荷;⑧如果成功,原地休息3—5min,再回到流程⑦。如果失败,休息3—5min,再按以下原则减轻负荷,如果成功再回到流程⑦。依此原则继续加或减负荷,直到受试者只能够正确完成一次动作重复为止,避免疲劳因素影响,测试最好能够在5次内完成。上肢力量测试减少原有负荷的2.5%—5%,下肢力量测试为5%—10%。

传统测试法的研究进展主要集中在应用人群与测试准确度两方面,之前的研究多集中在有训练经验的运动员,而在中老年、康复患者人群中的研究较少。因此多位学者对中老年、康复患者人群进行了相关研究。Rydwik等[3]在75岁以上没有训练经验的老年群体中开展了上肢肌肉的1-RM测试,得出传统测试法在75岁以上没有训练经验的老年人群中也有很高准确度;在测试之后受试者没有明显的肌肉酸痛、损伤,因此传统测试法在一定条件下是安全的。Levinger I等[20]用传统测试法对53例(男性25例、女性28例)没有训练经验的中年人进行七个动作的1-RM测试,测试一共进行3次,第二次测试与第一次测试间隔4—8天,第三次测试与第二次测试间隔十周,得出3次测试结果没有显著性差异,由此得出1-RM测试在没有训练经验的中年人群中也具有极高的准确性。Zanini A等[21]在慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease,COPD)患者的康复训练中,利用传统测试法对患者下肢1-RM测试,并根据测试结果确定力量训练的强度,对康复效果起到了重要作用。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.09.025

*基金项目:2019年上海市体育科技“重点备战攻关”项目(19J021)

1 上海体育学院体育教育训练学院,上海市,200438; 2 上海市第二康复医院; 3 上海市养志康复医院(上海市阳光康复中心); 4 上海体育学院附属竞技体育学校;5 通讯作者

第一作者简介:何渊,男,硕士研究生; 收稿日期:2020-01-04

总之,对传统测试法的研究主要集中在安全性问题,传统测试法在有训练经验的专业运动员中的安全性、准确度已经得到很多专家学者的验证。对中老年人群、康复患者测试的安全性研究,在固定器械测试中已得到很好的验证,但在自由器械测试中的研究较少。因此,中老年人群、康复患者进行1-RM测试时尽量采用固定器械。既往研究中测试之前技术动作的学习次数也有所不同,一般来讲自由器械比固定器械需要的学习时间多,但具体需要多少时间进行技术动作学习,可以结合专业教练及受试者自身的反馈来综合进行判断以确定受试者什么时候可以正式测试。

2.2 回归方程间接推算法

为了解决传统测试法的耗时、繁琐及测试过程中的受伤风险,众多学者进行了回归方程间接推算1-RM的研究,并深入开展了方程准确性研究[22]。回归方程的建立过程如下:①以测试动作的次最大负荷占1-RM的百分比作为因变量,在对应1-RM百分比之下的重复次数作为自变量进行直线回归,建立回归方程;②回归方程的拟合优度检验,检验回归方程对所选样本数据的代表程度;③回归方程的显著性检验,检验因变量与自变量间的线性关系是否显著;④回归系数的检验,根据样本估计的结果对总体回归系数的有关假设进行检验;⑤1-RM推算方程的回代检验,用传统测试法测试数据进行回代检验,以此来验证推算方程的可靠性。

Brzycki 1-RM预测方程[23]是知名度较高的一个用于预测1-RM的数学模型。在测试过程中最大重复次数不超过10次,则该公式预测1-RM具有很高的准确性。

Brzycki 1-RM预测方程:1-RM=100×cargrep/(102.78-2.78×rep)(r=0.98)。

cargrep为重复执行的负荷值,以kg为单位;rep为执行的重复次数。

最近有研究表明,当受试者可以自主选择测试的重量时,会优先选择较轻的重量进行测试,从而进行过多的重复。当选择负荷的重复次数很大时预测方程倾向于显著高估1-RM值[24]。李山[25]在研究不同预测公式准确性中,对6种预测公式的预测结果进行对比观察。发现在卧推动作中用50%1-RM的负荷进行1-RM测试,平均预测值为 59.4kg,与实测值相差8.5kg;用80%1-RM的负荷进行测试,平均预测值为66.2kg,与实测值相差1.7kg。相比之下,用80% 1-RM的负荷进行测试预测的1-RM值更准确,更接近真实值。当负荷较轻时,重复次数与肌肉耐力有很大的关系,肌肉耐力越好重复次数越多,而肌肉耐力与肌肉的最大力量没有直接联系。

2.3 利用力与速度曲线估算1-RM值

近年来加速度计、功率计、线性位置传感器等仪器的使用不断增加,为利用负荷—速度曲线估算1-RM提供了可能性。负荷—速度关系已成为客观监测和测定抗阻训练强度的方法[8,26—27]。既往的研究表明,从下肢和上肢肌肉的各种阻力训练中获得的负荷—速度关系具有强烈关联性[9,28—31]。研究人员已经确定,利用负荷—速度曲线可以准确地预测卧推1-RM[9,29]。

具体测试过程如下:①受试者进行5min专项准备活动,测试者在详细讲解动作要领及测试流程后,受试者再进行3—5次练习以熟悉动作要领,以尽可能消除因动作不熟练或对测试设备不熟悉而导致的测试误差[21—22];②第一次测试,以受试者预估1-RM值的30%—35%进行测试;③休息3—5min;④第二次测试,以受试者预估1-RM值的50%—55%进行测试;⑤休息3—5min ⑥第三次测试,以受试者预估1-RM值的70%—75%进行测试;⑦休息3—5min;⑧第四次测试,以受试者预估1-RM值的80%—85%进行测试;⑨第五次测试,以受试者预估1-RM值的90%—95%进行测试(每次测试重复2次即可,测试过程中受试者应尽可能快速地执行每次动作的向心收缩部分)。如果第五次测试结束,测试出的平均速度仍大于0.5m/s,则增加1—2组测试使速度小于0.5m/s。最后利用Gymaware系统对测试数据进行分析处理,绘制出力—速曲线,取速度为0.2m/s或者0.3m/s所对应的负荷值作为1-RM值。

力速—曲线估算1-RM属于最新方法,对力速曲线测试的准确性、便捷性方面有很多的研究。Sanchez-Medina[32]使用了不同的增量负荷及平均向心速度建立线性回归方程,来比较使用不同的增量负荷推测1-RM的准确性(20%、40%、60%1-RM;60%、80%、90%1-RM;20%、40%、60%、80%1-RM;40%、60%、80%、90%1-RM;20%、40%、60%、80%、90%1-RM),结果提示用20%—90%1-RM建立的负荷—速度曲线进行推测1-RM时最准确。研究者也指出所有推测模型都倾向于高估实际1-RM值5—10 kg,因此在用力与速度曲线推测1-RM值的过程中,速度取值时应略微大一点,来接近真实的1-RM值。

在力—速曲线估算1-RM的过程中,准确测量速度是至关重要的,因此有学者验证了不同类型的速度对测试结果的影响,即平均向心速度MV (mean concentric velocity):在整个向心阶段的平均速度;平均推进速度MPV(mean propulsive velocity):在加速阶段的平均速度;峰值速度PV(peak velocity):在向心阶段达到的最大瞬时速度值[28]。González-Badillo等[28]用平均推进速度来预测卧推1-RM,发现平均推进速度与相对负荷有很强的相关性,MPV是一个很好预测1-RM的因子。用平均推进速度的原因在于,负荷较轻时不会影响平均推进速度值,从而可以确定运动员真正的神经肌肉潜力[33—34,29]。而也有学者倾向于利用MV来推测1-RM,因为平均向心速度更贴合实际,没有割裂完整的动作;其次,随

着负荷的增加，较低的速度会导致减速阶段的缩短，从大约76%1-RM开始，MV和MPV几乎相等[35]。García-Ramos等[34]在史密斯架上进行的卧推运动中，比较了MV、PV、MPV预测1-RM的准确性，发现MV在负荷和速度之间具有最高的线性关系，MV是推测卧推1-RM最准确的速度。虽然这项研究表明MV是推测卧推1-RM的最有效速度，但不同的动作有不同的力—速曲线，因此结果并不一定是MV推测最准确[36]。此外也有学者提出，为减少速度测试过程中的误差，建议在动作的离心阶段和向心阶段之间暂停，以消除拉伸缩短周期SSC（stretching-shorten cycle）的参与[37]。这些发现表明，个人使用SSC的能力可能对所达到的速度有很大的影响，因此，在向心阶段和离心阶段之间暂停可能会减少这种影响，并提高力—速曲线评估的可靠性。

建立个性化的力速曲线方程耗时、繁琐，且运动员在此过程中需要反复测试，这对于需要控制运动员的训练量和测试大型团队的教练来讲并不理想。有学者提出用两点法估算1-RM[38]，两点估算法的理论依据是在抗阻运动中力—速度的关系是稳定且线性的[28,38—40]。最近的研究表明，两点法的最佳负荷分别为1-RM的20%和70%[41]，两点推算法的准确性在卧推动作中已得到验证，但在其他动作中是否有效还需要去验证。因此，两点法的最佳负荷可能因动作以及测试对象的个体差异而不同。

3 小结

对于测试方法的研究，始终围绕在准确性、安全性、简便性、适用人群等方面进行展开。传统测试法的准确性已经得到众多学者的验证，但传统测试法存在一定的受伤风险，因此传统测试法多用于有训练经验、专业运动员的测试，如果在中老年人群、大众健身人群、康复患者中使用，建议以固定器械测试为主；回归方程间接推测法操作简单、使用便捷、适用人群广泛，尤其在康复领域应用较多。为提高推算方程的准确性，在构建方程时应更加细化受试者特征（体重、身高、BMI、训练经验等）；力—速曲线估算1-RM的方法属于较新的方法，对其准确性、便捷性研究较多。研究集中在不同类型的速度对测试结果的影响，测试过程中肌肉拉长—缩短周期对测试结果的影响，两点测试法对估算结果的准确性等方面。因此，在利用力—速曲线估算1-RM时，应综合考虑上述因素和实际情况，以确保测试结果的准确。

参考文献

[1] Horvat M, Ramsey V, Franklin C, et al. A method for predicting maximal strength in collegiate women athletes[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2003, 17(2):324—328.

[2] Demura S, Miyaguchi K, Shin S, et al. Effectiveness of the 1RM estimation method based on isometric squat using a back-dynamometer[J]. J Strength Cond Res, 2010, 24(10): 2742—2748.

[3] Rydwik E, Karlsson C, Frandin K, et al. Muscle strength testing with one repetition maximum in the arm/shoulder for people aged 75+- test-retest reliability[J]. Clin Rehabil, 2007, 21(3):258—265.

[4] Bautista IJ, Chirosa IJ, Chirosa LJ, et al. Development and validity of a scale of perception of velocity in resistance exercise[J]. J Sports Sci Med, 2014, 13(3):542—549.

[5] Blatnik JA, Goodman CL, Capps CR, et al. Effect of load on peak power of the bar, body and system during the deadlift[J]. J Sports Sci Med, 2014, 13(3):511—515.

[6] Ferri A, Scaglioni G, Pousson M, et al. Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training in old age[J]. Acta Physiol Scand, 2003, 177(1):69—78.

[7] Pelletier D, Gingras-Hill C, Boissy P. Power training in patients with knee osteoarthritis: A pilot study on feasibility and efficacy[J]. Physiother Can, 2013, 65(2): 176—182.

[8] Jovanovic M, Flanagan EP. Researched applications of velocity based strength training[J]. journal of australian strength& conditioning, 2014, 22(2):58—69.

[9] Jidovtseff B, Harris N, Crielaard J, et al. Using the load-velocity relationship for 1rm prediction[J]. J Strength Cond Res, 2011, 25(1):267—270.

[10] Banyard H, Nosaka K, Haff G. Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1rm back squat [J]. J Strength Cond Res, 2016, 31(7):1897—1904.

[11] Niewiadomski W, Laskowska D, Gasiorowaska A, et al. Determination and prediction of one repetition maximum (1RM): safety considerations[J]. Journal of Human Kinetics, 2008, 19(1):109—120.

[12] Bianco A, Filingeri D, Paoli A, et al. One repetition maximum bench press performance: A new approach for its evaluation in inexperienced males and females: A pilot study[J]. J Bodyw Mov Ther, 2015, 19(2):362—369.

[13] Luebbers PE, Fry AC, Kriley LM, et al. The effects of a 7-week practical blood flow restriction program on well-trained collegiate athletes[J]. J Strength Cond Res, 2014, 28(8):2270—2280.

[14] Sugiura Y, HatanakaY, Arai T, et al. Relationship of load-velocity in isotonic movement of knee extension. A preliminary study in the selection of the maximum load and minimum load[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 30(2):225—228.

[15] Sugiura Y, Hatanaka Y, Arai T, et al. Estimations of one repetition maximum and isometric peak torque in knee extension based on the relationship between force and velocity[J]. J Phys Ther Sci, 2016, 30(4):233—238.

[16] Winwood PW, Cronin JB, Posthumus LR, et al. Strongman vs. traditional resistance training effects on muscular function and performance[J]. J Strength Cond Res, 2015, 29(2):429—439.

[17] Balsalobre-Fernández C, Glaister M, Lockey RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance[J]. Journal of Applied Biomechanics, 2017, 33(3):222—226.

[18] 谢永民，周爱国. 爆发力训练中抓举的适宜重量研究[J]. 北京体育大学学报，2017，40(6):99—104.

[19] Ritti-Dias RM, Avelar A, Salvador EP, et al. Influence of previous experience on resistance training on reliability of one-repetition maximum test[J]. J Strength Cond Res, 2011, 25(5):1418—1422.

[20] Levinger I, Goodman C, Hare DL, et al. The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2007,12 (2):310—6.

[21] Zanini A, Aiello M, Cherubino F, et al. The one repetition maximum test and the sit-to-stand test in the assessment of a specific pulmonary rehabilitation program on peripheral muscle strength in COPD patients[J]. International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 2015, 10:2423—30.

[22] Urquhart BG, Moir GL, Graham SM, et al. Reliability of 1RM split-squat performance and the effcacy of assessing both bilateral squat and split-squat 1RM in a single session for non-resistance-trained recreationally active men[J]. J Strength Cond Res, 2015, 29(7):1991—1998.

[23] Brzycki M. Strength testing-predicting a one-rep max from reps to fatigue[J]. Journal of Physical Education Recreation and Dance, 1993, 64(1):88—90.

[24] Ruf L, Chery C, Taylor KL, et al. Validity and reliability of the load-velocity relationship to predict the 1RM in deadlift[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2018, 32 (3): 681—689.

[25] 李山,陈信芝. 最大力量预测公式的准确性研究[J]. 西安体育学院学报，2016，33(5):612—617.

[26] González-Badillo JJ, Marques MC, Sánchez-Medina L. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity[J]. J Hum Kinet, 2011, 29 (Special Lssue):15—19.

[27] Mann J, Ivey P, Sayers S. Velocity-based training in football[J]. Strength & Conditioning Journal, 2015, 37(6):52—57.

[28] González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training [J]. Int J Sports Med, 2010, 31(5):347—352.

[29] Muñoz-López M, Marchante D, Cano-Ruiz M, et al. Load, force and power-velocity relationships in the prone pull-up exercise[J]. Int J Sports Physiol Perform, 2017, 12 (9):1249—1255.

[30] Picerno P, Iannetta D, Comotto S, et al. 1RM prediction: a novel methodology based on the force-velocity and load-velocity relationships[J]. Eur J Appl Physiol, 2016, 116(10):2035—2043.

[31] Izquierdo M, González-Badillo J, Häkkinen K, et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions[J]. Int J Sports Med, 2006, 27(9):718—724.

[32] Sanchez-Medina L, Perez CE, Gonzalez-Badillo JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment[J]. Int J Sports Med, 2010, 31(2):123—129.

[33] Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises[J]. J Appl Biomech, 2007, 23(2): 103—118.

[34] Amador García-Ramos, Francisco L Pestaña-Melero, Alejandro Pérez-Castilla, et al. Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: Which variable determines bench press relative load with higher reliability?[J]. J Strength Cond Res, 2018, 32:1273—1279.

[35] Luis Sánchez-Medina, Juan José González-Badillo. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training[J]. Med Sci Sport Exerc, 2011, 43: 1725—1734.

[36] Banyard HG, Nosaka K, Sato K, et al. Validity of various methods for determining velocity, force, and power in the back squat[J]. Int J Sports Physiol Perform, 2017, 12: 1170—1176.

[37] Jesús G Pallarés, Luis Sánchez-Medina, Carlos Esteban Pérez, et al. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments[J]. J Sports Sci, 2014, 32: 1165—1175.

[38] Jaric S. Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and powerproducing capacities[J]. Sports Med, 2016, 46:1585—1589.

[39] Bazuelo-Ruiz B, Padial P, Garcı´a-Ramos A, et al. Predicting maximal dynamic strength from the load-velocity relationship in squat exercise[J]. J Strength Cond Res 2015, 29(7):1999—2005.

[40] Filipe Conceição, Juvenal Fernandes, Martin Lewis, et al. Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises[J]. J Sports Sci, 2016, 34: 1099—1106.

[41] Alejandro Pérez-Castilla, Slobodan Jaric, Belén Feriche, et al. Evaluation of muscle mechanical capacities through the two-load method[J]. J Strength Cond Res, 2018, 32: 1245—1253.