

工效学负荷评价方法研究进展

袁志伟¹, 唐仕川², 王生¹, 李智民³, 何丽华¹

摘要: 工效学负荷是引起职业性肌肉骨骼疾患的重要原因之一, 工效学负荷的评价对职业性肌肉骨骼疾患的研究具有重要意义。本文综合记述了工效学负荷评价的研究现况, 从力量负荷、姿势负荷、心理负荷以及其他负荷四个方面介绍当今国内外常用的工效学负荷的评价方法, 为进一步研究工效学负荷与职业性肌肉骨骼疾患之间的关系提供参考。

关键词: 职业性肌肉骨骼疾患; 工效学负荷; 力量负荷; 姿势负荷; 心理负荷; 评价方法

Research Advance on Evaluation Methods for Ergonomic Exposure YUAN Zhi-wei¹, TANG Shi-chuan², WANG Sheng¹, LI Zhi-min³, He Li-hua¹ (1. Health Science Center, Peking University, Beijing 100191, China; 2. Occupational Safety and Health Laboratory, Beijing Municipal Institute of Labour Protection, Beijing 100543, China; 3. Shenzhen Prevention and Treatment Center for Occupational Diseases, Shenzhen 518001, China). Address correspondence to HE Li-hua, E-mail: alihe2009@126.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: Ergonomic exposure is one of the most important causes for work-related musculoskeletal disorders; therefore, the evaluation of ergonomic exposure is of great importance. This paper introduced common evaluation methods reported in domestic and international studies which fall into four categories including strength load, posture load, mental load, and other load, aiming to provide reference for future studies on the relationship between ergonomic exposure and work-related musculoskeletal disorders.

Key Words: work-related musculoskeletal disorder; ergonomic exposure; strength load; posture load; mental load; evaluation method

职业性肌肉骨骼疾患(work-related musculoskeletal disorders, WMSDs)严重影响工人的工作效率和健康, 研究显示, 每年WMSDs造成直接、间接的经济损失巨大, 成为影响国民经济发展的重要问题之一^[1-4]。而工效学负荷是引起WMSDs的主要原因之一, 工效学负荷的评价对研究WMSDs的发生和发展具有重要的意义。工效学负荷分为4类: 由重体力的手工操作和重复用力的动作造成的力量负荷; 由姿势不良引起的姿势负荷; 由社会心理因素引起的心理负荷; 由振动等其他因素造成的其他负荷^[5]。本文就力量负荷、姿势负荷、心理负荷以及综合的工效学负荷评价方法

的研究进展综述如下。

1 力量负荷的评价方法

力量负荷主要指由于重体力的手工操作或是重复用力而引起的作业者机体负荷。国内外关于力量负荷的评价方法目前主要有美国国立职业安全卫生研究所(NIOSH)的提举公式法。

提举公式是由NIOSH于1981年组织提出用于评价搬举任务工效学负荷的方法, 并分别于1991年和1994年指导修订。本方法提出人类提举限值和提举公式, 对相关提举任务进行工效学负荷的评价。关于提举公式的最新研究是Waters等^[6]在2009年第17届国际工效学会议上提出的可变性提举任务指数, 用于可变性提举任务的负荷评价, 拓宽了提举公式的应用范围。

该方法用于提举任务的工效学负荷的评价指标为提举指数(lifting index, LI), 提举指数由提举重量推荐限值(recommended weight limit, RWL)计算获得。RWL指的是在特定的工作条件下, 负荷的重量几乎可以使所有的健康工人都可以正常工作一段足够的

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2015.15111

[基金项目] 北京市科学技术研究院市级财政项目(编号: PXM2014-178304-000002-00130228); 十二五国家科技支撑计划项目(编号: 2014BAI12B03)

[作者简介] 袁志伟(1989—), 男, 硕士生; 研究方向: 职业卫生; E-mail: yuan90906236@126.com

[通信作者] 何丽华, E-mail: alihe2009@126.com

[作者单位] 1. 北京大学医学部, 北京 100191; 2. 北京市劳动保护科学研究所职业安全健康重点实验室, 北京 100543; 3. 深圳市职业病防治院, 深圳 518001

时间(一般8h/d)而不引起与提举相关疾患发生的危险度增加^[7]。LI是提举重物实际的重量与RWL的比值,是评价提举任务的工效学负荷大小的主要指标。国际上通用的标准是:若 $LI>1.0$ 则提示提举任务可能造成作业人群伤害,若 $LI>2.0$ 甚至在3.0以上,则患WMSDs的危险度将会明显增加。

在实际工作中,根据提举任务的性质和特点,将提举任务分为4类:单个提举任务、多重提举任务、顺序性提举任务^[8]以及可变性提举任务^[9]。提举任务的类别不同计算LI的方法不同,但评价标准均相近,即由提举公式获得的最终结果越大,提举任务对工人造成职业伤害的可能性就越大,干预措施的实施就越紧迫。

2 姿势负荷的评价方法

姿势负荷是由于劳动工具、设备和工作方法不符合工效学原则,引起姿势不良所造成的机体负荷。国内外关于姿势负荷的评价方法主要有快速上肢评价法,全身快速评价法,劳动姿势与负荷分析法等。3种方法也涉及到了其他的不良因素,但以姿势负荷为主。其中快速上肢评价法(rapid upper limb assessment, RULA)与全身快速评价法的评价过程相近^[10],缺少对手部与物体接触情况的评价和参考^[11],本文只介绍全身快速评价法。

2.1 全身快速评价法

全身快速评价法(rapid entire body assessment, REBA)是由McAtamney和Hignett^[12]提出的用于全身姿势负荷的快速评价方法。该方法主要通过观察工人身体局部的姿势负荷并评分,利用测量或观察扭曲、负重、接触及活动情况进行负荷分数加权,得出该工人最终负荷得分,根据最终得分来确定工人的工效学负荷和危险度等级,从而确定干预措施实施的紧急程度。初级负荷得分通过两部分获得,一部分为躯干、颈部、腿部按三部分姿势的REBA法负荷等级评价标准进行分别评分,算出累加合计的分数;另一部分为上肢即上臂、下臂、手腕三部分的姿势评价,分别评分合计。将两部分合计得分分别参考负重大小和手物接触情况进行加权加分,两部分得分相加获得初级负荷得分,在参考身体活动情况加权加分后得出最终得分^[13]。最终得分通过危险度等级的评价标准进行分析。评价标准见表1。根据获得的最终得分,确定行动等级、危险度等级以及干预措施实施等级,参考评价

过程中的工人姿势、负重、接触、活动情况等,制定干预策略,以降低危险度等级,预防WMSDs的发生。

表1 REBA法工效学负荷得分及危险度等级

行动等级	REBA得分	危险度等级	干预措施等级
0	1	极低	不必要
1	2~3	低	可能需要
2	4~7	中等	需要
3	8~10	高	尽快实施
4	11~15	极高	马上实施

2.2 工作姿势与负荷分析法

工作姿势与负荷分析法(ovako working posture analysis system, OWAS)是北欧芬兰的Karhu等^[14]为评价劳动中工人不同的姿势负荷发展而来的评价方法。该方法主要根据身体局部姿势的负荷等级进行分别编码,并参考负重或力度的等级编码联合成为一个四位数的总编码,通过总编码获得劳动中该工人的姿势负荷水平。

评价的身体部位主要为背部、手臂和下肢,根据三部分姿势水平的不同按照OWAS法姿势负荷标准评价,分别获得三部分的姿势负荷编码,通过观察工人在劳动过程中的负重和力量水平来获得第四个编码数字。利用获得的四位数编码在OWAS法行为分类表中找到该姿势对应的负荷等级。负荷等级分为4级,从1到4依次指不需纠正、近期纠正、尽快纠正、立刻纠正^[15]。根据负荷等级以及评价过程中获得的劳动姿势情况,制定干预策略,降低WMSDs发生的危险度。

3 心理负荷评价法

心理负荷主要指由于社会心理因素包括不良的工作环境、职业紧张等引起的工人心理负荷。国际、国内关于心理负荷的评价方法主要有工作内容量表法、工作绩效测量法、次任务测量法、生理想激反应测量法等^[16-17],本文主要介绍工作内容量表法(job content questionnaire, JCQ)。JCQ是由美国Karasek等^[18]在20世纪70年代末期研究的一种广泛用于职业紧张程度评价的工具。推荐问卷主要有49个条目,主要包括以下内容的评价:技术水平、决定水平、宏观决定水平、心理工作需求、躯体工作需求、不稳定工作因素、上级支持、社会同事支持等,其中心理工作需求包括工作速度快、努力工作、过量工作、工作时间、需求冲突、注意力集中、需求任务中断、工作繁忙、等待他

人^[19]。中文版的工作内容量表在医务人员、建筑工人等行业中检验,其效度和信度均较好^[20-21]。

4 综合的工效学负荷评价方法

综合的工效学负荷评价方法主要指该评价方法涉及了多种不良的工效学因素,几乎包含了全部不良的工效学因素的评价方法。国内外关于综合的评价方法主要有快速暴露检查法,手工操作评估表法以及肌肉骨骼紧张因素判定法等。

4.1 快速暴露检查法

快速暴露检查法(quick exposure check, QEC)是由Surrye大学Rohens工效学中心开发研制的一种工效学负荷评价方法。评价的主要方式是采用观察者观察和被观察者自评相结合的方式^[22]。

观察者主要观察工人在劳动过程中身体四个部位的位置变化和运动幅度大小,四个部位分别为颈部、背部、肩部以及手腕,按照位置变化和运动幅度将四个部位的工效学负荷分出若干等级并根据QEC法负荷等级评价标准予以相应评分。被观察者自评主要通过自填问卷的形式,获得工人如下信息:手部最大重量、工作任务时间、最大力量水平、视力要求、操作时间、振动情况、工作空间大小以及压力,按照工人的主观回答确定各指标的等级水平和评分^[23]。

将观察者所获得的信息与工人自评的结果相结合,综合相关两个指标获得一项得分,按照身体的四个部分分别获得该工人各部分的工效学负荷总得分以及操作、振动、工作空间及压力四个不良因素的得分,根据QEC法得分的评价标准,进行劳动任务的评价,从而提出改善干预措施,降低WMSDs的发生危险度。

4.2 手工操作评估表法

手工操作评估表法(manual handling assessment chart, MHAC)是由英国健康与安全委员会(HSE)制定,用于评价提举、搬运、手部操作过程中的不良工效学因素的方法。

该方法主要评价劳动过程中的以下10个内容:负担重量、搬举频率、上肢位置、不对称躯干负重、动作限制、抓举情况、操作者的能力、地面情况、搬运距离、搬运途中障碍及环境因素等。将实际观察到的工作场所情况按照MHAC法等级评分的标准进行,分别评分获得该场所的劳动任务各个因素的评分。

将10个因素的等级评分相加获得整个任务的工

效学负荷得分,根据分数的等级进行劳动任务的评价,评价标准为10~16分,可以接受;17~22分在合适范围内,任务发生变化时需进行重新评估;23~28分,负荷已经超出可接受范围,需尽快进行调查并作改进干预;29~34分,立刻进行调查和改进以改善工作环境^[24]。

4.3 肌肉骨骼紧张因素判定法

肌肉骨骼紧张因素判定法(musculoskeletal stress factors which may have injurious effects, PLIBEL)是由瑞典的Kemmlert^[25]提出的用于判定和识别肌肉骨骼紧张因素的方法。

肌肉骨骼紧张因素判定法是通过判定被调查者回答的关于身体五个部位的相关问题进行评价。身体的五个部位包括颈肩、上背部、手、前臂、肘部,足部,膝盖、大腿部,下背部;回答的问题共有17个,主要是关于工作场所地面,空间限制,工具及设施舒适度,工作高度,座椅,坐与休息,踏板情况,腿部(包括凳子上重复脚踏,重复跳跃,长时间蹲跪,经常单脚支撑身体),重复持续工作背部状况(包括轻微前屈,严重前屈,侧弯或轻度扭曲,严重扭曲),重复持续工作颈部状况(包括前屈,侧弯或轻度扭曲,严重扭曲,向后延伸),搬举负重,重复、持续、不舒服的手部操作,持续工作单手情况,重复情况,手部操作情况(包括材料或工具重量,不良抓举姿势),视力要求,前臂与手部在重复作业中的姿势情况。

被调查者通过回答上述17个问题涉及的状况是否存在,最终通过统计得出每个问题回答肯定的被调查者占总调查者的比例,超过80%回答肯定问题中涉及的状况即需要进行干预和改善的不良因素。

4.4 其他评价方法

有关工效学负荷的综合评价方法还有:利用表面肌电仪等的表面肌电描述技术^[26]、肢体倾角评价法^[27]、肌力测试法、仿真分析法等^[28]。

上述各种工效学负荷评价方法中,OWAS法是最早用于工效学负荷评价的,MHAC法是最新研制出的负荷评价方法。其中,QEC法结合了观察者和工人自评两部分的信息评价更为客观,自评部分涉及了相关的心理因素且考虑了两个因素之间的相互作用,评价更为准确,且该方法适用于大多数工作的工效学负荷评价。但是QEC法不适用于高度多变的任务,且观察者观察的工人身体部位未考虑下肢不良姿势和负荷的影响,仅考虑工人的颈部、躯干、上肢造成负

荷评价的片面性,林嗣豪等^[29]的研究对此做出了修正,提出了改进的方法工效学负荷快速综合评估方法(comprehensive quick ergonomic check, CQEC),增加了下肢部分的评价。该方法结果一致性较好,并且评估者间、评估者内信度检验尚可。

MHAC法评价的不良工效学因素较为全面,涉及到了个体的因素如个人能力等,也考虑到环境因素的影响,但是该方法未考虑手工操作任务的持续时间,且只适用于手工操作任务的评价,适用于评价的劳动范围广于提举公式,低于其他方法如QEC等。

PLIBEL法评价涉及的不良工效学因素较为全面,且评价过程简单,需要干预改善的不良工效学因素突出明确,但该方法未考虑不良工效学因素的等级对工人身体的影响,主观的回答使重复性较差,该方法涉及的因素也不含个人心理、个体等因素,只能作为初步筛选工具的方法,具有一定的效度和信度。

提举公式法评价过程简单易行,解释清楚明晰,利用公式的方法将各个不良工效学因素的指标予以量化,直观有效的对提举任务过程中的各个因素进行评价,但是该方法仅适用于部分提举任务,对流水线作业或是其他行业的作业评价范围有限,是本文介绍方法中适用范围最窄的一种^[30]。由于制定推荐搬举限值的复杂性,至今没有技术测量方法可以作为NIOSH方程的“金标准”进行效度评价。

RULA, REBA与OWAS法均是姿势负荷的评价方法。相比而言OWAS法能够评价的姿势动作更多更全面,且方法简便更容易理解,但未考虑姿势的持续时间和重复性;REBA法相对而言涉及的身体部位更多,考虑的不良工效学因素也多于OWAS法,评价更为全面,但也未考虑姿势的持续时间和重复性;REBA相比于OWAS法具有一定的效度,在腿部和躯干部位的评价观察者间一致性良好,而在上肢的观察者间一致性稍差。利用表面肌电仪或是仿真分析法等,操作复杂,需要较高的技术要求,但评价也相对于客观准确,可在条件具备的情况下作为其他评价方法的辅助方法^[31]。

综合各个工效学负荷评价方法的特点而言,QEC、MHAC和PLIBEL法评价的较为全面,但QEC法适用更广,提举公式评价准确,但应用范围有限,而RULA、REBA和OWAS法适用于姿势负荷的评价,涉及的不良工效学因素较少。其他的评价方法在实践过程中应用较少。现今的研究主要集中在将先进的计算

机技术与多种负荷评价方法相结合,客观综合地评价工作者的工效学负荷,由此根据研究对象的特点选择几种合适的工效学负荷评价方法和开发工效学负荷评价的计算机技术,是研究工效学负荷与WMSDs暴露关系的关键。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1] 刘长俊,郭怀兰,王建洲.职业性肌肉骨骼疾患的研究进展[J].郧阳医学院学报,2004,23(2):119-121.
- [2] 鲁锡荣.职业性慢性肌肉骨骼损伤[J].国外医学:卫生学分册,1990,17(4):196-199.
- [3] Graves RJ, Way K, Riley D, et al. Development of risk filter and risk assessment worksheets for HSE guidance—“Upper Limb Disorders in the Workplace” 2002[J]. Appl Ergon, 2004, 35(5): 475-484.
- [4] Choi SD. A study of trade-specific occupational ergonomics considerations in the U.S. construction industry[J]. Work, 2012, 42(2): 215-222.
- [5] 林嗣豪.工作场所工效学负荷综合评估及其应用研究[D].四川:四川大学,2006.
- [6] 曹磊,何丽华,王生,等.美国国立职业安全卫生研究所提举公式评价方法的研究进展[J].中华劳动卫生职业病杂志,2010,28(12):936-939.
- [7] Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A. Development of risk filter and risk assessment worksheets for HSE guidance[M]. [S.L.]: DHHS(NIOSH) Publication, 1994: 94-110.
- [8] Waters TR, Lu ML, Occhipinti E. New procedure for assessing sequential manual lifting jobs using the revised NIOSH lifting equation[J]. Ergonomics, 2007, 50(11): 1761-1770.
- [9] Waters TR, Occhipinti E, Cotombini D, et al. The Variable Lifting Index(VLI): a new method for evaluating variable lifting tasks using the revised NIOSH lifting equation[C]// Proceedings 17th IEA World Conference. Beijing: [s.n.], 2009: 1-3.
- [10] McAtamney L, Nigel Corlett E. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders[J]. Appl Ergon, 1993, 24(2): 91-99.
- [11] Dockrell S, O'Grady E, Bennett K, et al. An investigation of the reliability of Rapid Upper Limb Assessment(RULA) as a method of assessment of children's computing posture[J].

- Appl Ergon, 2012, 43(3): 632-636.
- [12] McAtamney L, Hignett S. REBA: a rapid entire body assessment method for investigating work related musculoskeletal disorders [C]//Proceedings of the Ergonomics Society of Australia. Adelaide: [s.n.], 1995: 45-51.
- [13] Hignett S, McAtamney L. Rapid Entire Body Assessment (REBA)[J]. Appl Ergon, 2000, 31(2): 201-205.
- [14] Karhu O, Härkönen R, Sorvali P, et al. Observing working postures in industry: Examples of OWAS application[J]. Appl Ergon, 1981, 12(1): 13-17.
- [15] Grecchi A, Cristofolini A, Correzzola C, et al. Application of the OWAS method in the study of work postures among quarry manual workers[J]. La Medicina del Lavoro, 2006, 97(5): 707-714.
- [16] 计亚楠.工效学新技术在机车驾驶环境设计中的应用[J]. 电力机车与城轨车辆, 2004, 27(6): 1-5.
- [17] 孙崇勇.心理负荷测量方法的现状与发展趋势[J].人类工效学, 2012, 18(2): 88-92.
- [18] Karasek R, Brisson C, Kawakami N, et al. The Job Content Questionnaire (JCQ): an instrument for internationally comparative assessments of psychosocial job characteristics [J]. J Occup Health Psychol, 1998, 3(4): 322-355.
- [19] 余善法.国外职业紧张测试工具简介[J].工业卫生与职业病, 1997, 23(2): 126-128.
- [20] 沙焱, 刘苹, 李健, 等.工作内容量表(中文版)在医务人员中的验证[J].中国职业医学, 2003, 30(3): 24-27.
- [21] 王丽, 冯景丽, 高红萍, 等.工作内容量表在建筑行业职工中应用的信度和效度[J].环境与职业医学, 2010, 27(3): 138-141.
- [22] 林嗣豪.工作场所工效学负荷综合评估及其应用研究[D]. 成都: 四川大学, 2006.
- [23] David G, Woods V, Li G, et al. The development of the Quick Exposure Check (QEC) for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders[J]. Appl Ergon, 2008, 39(1): 57-69.
- [24] Batish A, Singh TP. MHAC—an assessment tool for analysing manual material handling tasks[J]. Int J Occup Saf Ergon, 2008, 14(2): 223-235.
- [25] Kemmlert K. A method assigned for the identification of ergonomic hazards-PLIBEL[J]. Appl Ergon, 1995, 26(3): 199-211.
- [26] Aaras A, Veierod MB, Larsen S, et al. Reproducibility and stability of normalized EMG measurements on musculus trapezius[J]. Ergonomics, 1996, 39(2): 171-185.
- [27] Hansson G A, Asterland P, Holmer NG, et al. Validity and reliability of triaxial accelerometers for inclinometry in posture analysis[J]. Med Biol Eng Comput, 2001, 39(4): 405-413.
- [28] 赵鹏飞, 马强.职业性肌肉骨骼疾患的劳动负荷评价研究进展[J].职业与健康, 2010, 26(14): 1647-1649.
- [29] 林嗣豪, 唐文娟, 王治明, 等.工作场所工效学负荷综合暴露评估方法的建立及信度评价[J].海峡预防医学杂志, 2007, 13(5): 3-6.
- [30] 肖国兵.手工操作的工效学评价及提举重量限值的研究[D].上海: 复旦大学, 2004.
- [31] Motamedzade M, Ashuri MR, Golmohammadi R, et al. Comparison of ergonomic risk assessment outputs from rapid entire body assessment and quick exposure check in an engine oil company[J]. J Res Health Sci, 2011, 11(1): 26-32.

(收稿日期: 2015-01-07)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 葛宏妍)

【告知栏】

《环境与职业医学》杂志 ISSN 更改为 2095-9982

根据国际标准连续出版物号(International Standard Serial Number, ISSN)编码系统中国国家中心通知,《环境与职业医学》杂志 ISSN 编号由 2015 年 3 月 5 日起变更为 ISSN 2095-9982。