대한산업의학회지 제 15 권 제 4 호 (2003년 12월)
Korean J Occup Environ Med, 2003;15(4):388-400

육체적 작업강도 평가 설문지의 신뢰도와 타당도

부산대학교 의과대학 예방의학 및 산업의학교실, 대우병원 산업의학과[1], 부산백병원 산업의학과[2]

이동준 · 강동묵 · 고상백[1] · 김정원[2] · 장준호 · 김종은[2] · 조병만 · 이수일

— **Abstract** —

Reliability and Validity of Questionnaire for Assessing Physical Workloads

Dongjun Lee, Dongmug Kang, Sang Baek Koh[1], Jungwon Kim[2],
Junho Jang, Jongeun Kim[2], Byungmann Cho, Suill Lee

Department of Preventive and Occupational Medicine, College of Medicine, Pusan National University
Department of Occupational Medicine, Daewoo Hospital[1]
Department of Occupational Medicine, Pusan Paik Hospital[2]

Objectives: The aims of the study were to make a questionnaire for assessing physical workloads and to evaluate its reliability and validity.

Methods: A total of 220 workers (foundry workers 30, large vehicle assemblers 30, shipyard workers 75, and automobile manufacturers 80) completed a self-administered questionnaire and took examinations for physical work capacity and working heart rate. We excluded data with insufficient responses or incorrect physical work capacity and working heart rate. Finally, the data of 154 workers (70.0%) were used for our study. In order to evaluate the reliability and validity of the questionnaire, we used statistical analyses including the scaling assumption test and a comparison with the objective tool for physical workload which was evaluated by working energy expenditure.

Results: The items of the questionnaire in the same categories had close distribution in the evaluation of the scaling assumption. The item internal consistency was 0.41-0.73 for posture factor, and 0.62-0.79 for non-posture factor. The item discriminate validity was 100%. Cronbach's αcoefficient of the total items was 0.73 (0.58 for posture factor and 0.74 for non-posture factor). In the correlation between working energy expenditure and questions, general physical activity (p=0.008), proportion of the workday with hands above shoulder (p=0.002), proportion of the workday with trunk bent (p=0.028), proportion of the workday with awkward posture (p=0.048), sweating after work (p=0.006), total scales (p=0.003) and Borg scale (p=0.011) all had statistical significance.

Conclusions: Our questionnaire for assessing physical workloads demonstrated statistically significant reliability and validity. But the questions for the proportions of the workday with sitting work posture and with static posture should be modified via a larger study.

Key Words: Questionnaire, physical workloads, reliability, validity

<접수일: 2003년 7월 29일, 채택일: 2003년 11월 3일>

교신저자: 강 동 묵 (Tel: 051-240-7741) E-mail: kangdm@pusan.ac.kr

서 론

산업현장에서 작업자에게 가해지는 육체적/물리적 부하가 작업자의 능력을 초과하지 않도록 하는 일은 산업의학과 인간공학의 중요한 책임이면서 또한 목표 중의 하나라고 할 수 있다. 작업 시 소모되는 에너지량을 알고 있다면 이는 작업을 설계할 때 중요한 기준이 될 수 있으며, 수작업으로 중량물을 취급하는 것과 같은 육체적 작업을 과도한 긴장과 피로 없이 수행할 수 있다.

생역학과 생리학적 측정도구들은 이러한 육체적 긴장과 피로를 유발하는 각기 다른 형태의 여러 작업을 비교할 수 있는 객관적인 근거를 제공한다. 그 중에서도 심박동수와 에너지 소모량은 과도한 육체적 피로의 누적없이 작업을 수행할 수 있도록 피로의 저감, 적정휴식에 대한 기준을 제공하는 생리학적인 방법으로 알려져 있다.

그러나 이러한 생역학과 생리적인 측정도구들은 측정하는데 여러 장비가 필요하고, 소요되는 시간도 적지 않아 현장에서 간편하게 적용하기에는 무리가 따른다. 이러한 이유로 외국에서는 육체적/물리적 부하를 평가할 수 있는 설문지를 개발하여, 이를 통해 각 작업의 부하를 평가하는데 사용하고 있으며, 대표적인 설문지로 Tecumseh and Minnesota questionnaire/interviews (Montoye, 1975), Paffenbarger/Harvard alumni questionnaire (Paffenbarger 등, 1993), Five-city/7-Day recall questionnaire/interview (Blair 등, 1985), Baecke questionnaire (Baecke 등, 1982), Stockholm public health questionnaire (Ola 등, 2002), Health insurance plan of New York questionnaire (Shapiro 등, 1963), British civil servant questionnaire (Yasin, 1967), Framingham · Messachusetts questionnaire (Dannenberg 등, 1989) 등이 있다.

국내의 실정을 살펴보면, IMF 이후 구조 조정, 비정규직의 확대 등으로 작업인원수의 감소, 일인당 작업물량의 증가, 작업시간의 연장 등 전반적인 작업강도는 증가했을 것으로 생각되나, 아직까지 작업현장에서 작업 특성을 고려한 적절한 작업강도의 기준은 물론 이를 평가하려는 시도조차 많지 않은 것이 사실이다. 이에 본 연구에서는 생산과정 중의 전반적인 육체적 작업강도의 크기를 파악할 수 있는 설문지를 개발하고자 하였으며, 이를 위하여 외국에서 개발된 설문지 중 작업 시 육체적 부하의 평가에 초점이 맞추어져 있고, 그 타당성과 객관성이 여러 연구를 통해 입증된 Tecumseh questionnaire, Baecke questionnaire와 Stockholm public health questionnaire를 참고로 하였다. 또한, 중량물을 취급하는 작업, 국소근육의 반복적인 동작을 요하는 작업, 부적절한 자세로 이루어지는 작업, 고정적인 자세로 이루어지는 작업 등과 같은 작업의 다양성을 고려하여 작업 시 가해지는 작업부하를 총괄적으로 평가할 수 있도록 전반적인 육체적 활동을 평가할 수 있는 설문문항과 국소적인 신체부위의 사용/자세에 관련된 설문문항으로 나누어 설문문항을 개발하였다.

본 설문지의 신뢰도와 타당도를 평가하기 위해 통계학적인 방법과 작업 중 심박동수, 에너지 소모량과 같은 객관적인 지표와 비교하였다.

대상 및 방법

1. 대상

다양한 작업을 대상으로 설문지의 신뢰도와 타당도를 검토하기 위하여 2003년 2월 26일부터 2003년 5월 24일까지 활동적이고 중량물 취급이 많은 주물생산 일개 사업장(30명), 활동량이 적고 좌식 정밀작업이 많은 전동차 부품 정밀 조립 일개 사업장(30명), 고정된 자세의 작업이 많은 조선소 일개 사업장(75명), 그리고 단순 반복작업이 많은 자동차 생산 일개 사업장(85명) 등 총 4개 사업장의 근로자 220명을 대상으로 하여 설문조사와 육체적 부하를 측정하였다. 현재 통증이 있거나 치료를 받고 있는 근로자는 대상에서 제외하였으며, 설문에 50%이상 응답하지 않았거나 작업 중 심박동수가 제대로 측정되지 않은 근로자 66명을 제외한 154명(주물생산 일개 사업장 19명, 전동차 부품 정밀 조립 일개 사업장 29명, 조선소 일개 사업장 37명, 자동차 생산 일개 사업장 69명)을 대상으로 분석을 시행하였다(설문응답자의 70.0%).

2. 방법

1) 설문지의 개발

육체적 부하의 크기를 평가하기 위하여 개발된 여러 종류의 설문지 중 주로 작업강도의 평가에 초점이 맞추어져 있고, 기존의 연구를 통해 그 타당성과 객관성이 입증된 Tecumseh questionnaire, Baecke questionnaire와 Stockholm public health questionnaire를 참고로 하였다.

설문지는 총 12문항으로 이루어져 있으며 전반적인 작업의 형태(1문항), 중량물의 취급빈도(1문항), 작업자세와 반복적인 동작의 유무(6문항), 작업속도와 피로감(3문항) 등은 " 전혀 그렇지 않다(1점) - 언제나 그렇다(5점) "의 순위변수로 이루어진 5개의 Likert 척도로 되어있고, 나머지 1문항은 Borg scale(Borg, 1982)로 측정한 주관적으로 평가하는 작업의 힘들기로 6에서 20까지의 연속변수의 형태로 되어 있고, 시각적 표시척도(visual analogue scale) 아래쪽에 힘든 정도를 표시하도록 되어있다. 각각의 점수에 10을 곱하면 심장박동수와 일치한다.

또한, 작업의 다양성을 고려하여 전반적인 육체적 활동을 평가할 수 있는 설문문항(비자세요인-문항 1, 2, 9, 10, 11)과 국소적인 신체부위의 사용/자세에 관련된 설문문항(자세요인-문항 3, 4, 5, 6, 7, 8)으로 나누어 설문문항을 개발하였다.

2) 육체적 작업부하 평가

신체적 능력 평가와 육체적 작업강도 평가를 실시하였으며 이를 근거로 최대산소소모량을 간접적으로 추정하였다.

가) 신체적 능력 평가

기본적인 신체적 능력을 평가하기 위해 자전거 에르고미터(COMBI Co. AEROBIKE 75XL II®)를 이용하여 각 작업자의 목표심박수(최대 심박수의 75%), 이 때의 산소소모량(l/min, ml/min/kg)과 Physical Work Capacity(PWC(Watt))를 측정하였다.

측정에 소요되는 시간은 약 15분 정도이며, 기본 심박수의 측정을 위해 측정 시작 전에 5분 정도 안정을 취하도록 한 후 검사를 실시하였다.

자전거 에르고미터에 피검자의 연령과 몸무게를 입력하면 내장된 프로그램에 의해 계산된 목표심박수(최대 심박수의 75%)가 설정되고 이 후 약 10분간 자전거 에르고미터의 페달을 밟게 된다. 약 10분간의 검사가 진행되는 동안 내장 프로그램에 의해 계속해서 페달에 가해지는 부하가 증가하게 되고(램프부하 방식), 이때의 피검자의 심박동수가 피검자의 귓볼에 장착된 감지기를 통해 기록된다. 목표심박수에 도달할 때까지 페달의 부하가 계속해서 증가되며 이에 따라 심박동수는 직선적으로 증가하게 되는데, 이 검사의 결과를 바탕으로 피검자의 기본적인 신체적 능력을 파악할 수 있으며, 이후에 작업 중의 심박동수를 이용하여 작업부하를 평가하는 과정의 자료로 이용하였다

나) 작업 중 심박동수의 측정 및 작업 중 에너지 소모량 추정

하루 노동일 중의 심박동수의 측정을 위해 측정대상자에게 출근 시에 심박동수 측정기(Polar Electro Co, Finnland, S810®)를 부착하였다. 그리고 기기 부착 후 작업일기를 주어 퇴근할 때까지의 모든 구체적 업무를 적도록 하여 하루 작업동안 심박동수의 변화를 알 수 있도록 하였으며 부착하였던 심박동수 측정기와 작업일기를 작업 종료 후에 수거하였다.

하루 작업동안 기록된 심박동수 중 점심시간과 휴식시간을 제외한 실작업 시간 동안의 기록만을 분석하였다. 신체적 능력 평가에서 추정한 개인별 심박당 에너지 소모량을 작업 중의 평균 심박동수에 대입하여 작업 중 에너지 소비량(energy expenditure)을 추정하였다.

3. 통계적 분석

설문지의 신뢰도와 타당도를 검토하기 위하여 자세요인과 비자세 요인으로 나누어 설문지 자체의 척도화 가정, 신뢰도와 타당도를 분석하였다. 이를 위해 문항내적일치도, 문항판별타당도, Cronbach's α 계수를 구하였고, 요인분석을 시행하였다. 객관적인 지표와의 비교를 통한 설문지의 타당도 검토를 위하여 선형회귀분석을 시행하여 상관관계의 유무를 보았다. 통계적 분석에는 SAS 8.1을 이용하였으며 유의수준은 0.05로 하였다.

결 과

1. 조사대상자들의 일반적 특성

평균 연령은 35.7±7.5세, 평균 키는 171.5±6.2 cm이었으며, 평균 체중은 67.5±7.6 kg이었다.

최종학력은 고졸이 78.2%로 가장 많았고, 대상자의 46.5%가 현재 흡연을 하고 있었으며, 비흡연자는 39.6%이었다. 대상자의 52.1%가 음주를 하고 있었으며, 평균 음주 횟수는 46.5%가 일주일에 1~2회였고, 5.6%가 일주일에 3~5회였다(Table 1).

Table 1. General characteristics of study subjects

Characteristics	Numbers(%)
Job distribution	
Foundry workers	19(12.3)
Large vehicle assemblers	29(18.8)
Shipyard workers	37(24.0)
Automobile manufacturers	69(44.8)
Age (years)	35.7±7.5*
Height (cm)	171.5±6.2*
Weight (kg)	67.5±7.6*
Education level	
Elementary school	3(2.1)
Middle school	11(7.8)
High school	111(78.2)
College	17(12.0)
Smoking	
Smoker	67(46.5)
Ex-smoker	20(13.9)
Non-smoker	57(39.6)
Alcohol drinking	
None	68(47.9)
Yes(1~2 times/week)	66(46.5)
Yes(3~5 times/week)	8(5.6)

*, mean±S.D.

2. 설문문항에 대한 응답

작업의 형태는 옮겨다니거나 걸어다니면서 하는 약간 힘든 작업(40.2%)이 가장 많았으며, 10 kg 이상의 물체를 드는 빈도는 하루에 1~10회(36.9%)가 가장 많았다.

손을 어깨위로 올리는 작업의 비율은 작업시간의 약 10%(27.7%)가 가장 많았으며, 몸을 구부리는 작업의 비율은 작업시간의 약 75%이상(29.8%)이 가장 많았고, 불편한 자세를 취하는 작업의 비율은 작업시간의 약 10%(27.3%)가 가장 많았다.

앉아서 일을 하는 작업의 비율은 전혀/거의 없음(46.7%)이 가장 많았고, 반복적인 동작을 하는 작업의 비율은 작업시간의 약 75%이상(62.0%)과 작업시간의 약 50%(20.4%)가 응답의 대부분을 차지하고 있어, 조사대상자들의 작업이 대부분 반복적인 동작을 취하는 작업이라는 것을 알 수 있다.

고정된 자세를 취하는 작업의 비율은 작업시간의 약 25%(23.2%), 작업시간의 약 50%(22.5%), 작업시간의 약 75%이상(21.0%) 순이었으며, 수행하는 직무의 속도가 빠름은 가끔 그렇다(37.1%), 대부분 그렇다(32.9%), 항상 그렇다(17.9%)로 대부분의 대상자들이 자신이 수행하는 직무의 속도가 빠르다고 느끼는 것으로 나타났다.

작업 후에 피로를 느낌은 가끔 그렇다(36.2%), 대부분 그렇다(34.8%), 항상 그렇다(22.7%)로 대부분의 대상자들이 작업 후에 피로를 느끼는 것으로 나타났다(Table 2).

Table 2. Responses to the questionnaire

Question	Responses	Numbers(%)
1. General physical activity in occupational work	Sedentary, light work	18(13.1)
	Light, somewhat mobile work	25(18.3)
	Mobile, fairly heavy work	55(40.2)
	Heavy work	26(19.0)
	Very heavy work	13(9.5)

Table 2. Responses to the questionnaire (continue)

Question	Responses	Numbers(%)
2. Frequency of manual handling of loads≥ 10kg in present job	Almost never/not at all	44(31.2)
	1~10 times per day	52(36.9)
	11~50 times per day	13(9.2)
	More than 50 times per day	6(4.3)
	Almost all the time	26(18.4)
3. Proportion of the workday with hands above shoulder level in present job	Almost never/not at all	37(26.2)
	About 10% or slightly less	39(27.7)
	About 25% of the workday	20(14.2)
	About 50% of the workday	18(12.8)
	75% or more of the workday	27(19.2)
4. Proportion of workday with trunk bent in present job	Almost never/not at all	3(2.1)
	About 10% or slightly less	24(17.0)
	About 25% of the workday	37(26.2)
	About 50% of the workday	35(24.8)
	75% or more of the workday	42(29.8)
5. Proportion of workday with awkward posture in present job	Almost never/not at all	13(9.4)
	About 10% or slightly less	38(27.3)
	About 25% of the workday	29(20.9)
	About 50% of the workday	36(25.9)
	75% or more of the workday	23(16.6)
6. Proportion of workday with sitting work posture in present job	Almost never/not at all	64(46.7)
	About 10% or slightly less	16(11.7)
	About 25% of the workday	18(13.1)
	About 50% of the workday	16(11.7)
	75% or more of the workday	23(16.8)
7. Proportion of workday with repetitive movement in present job	Almost never/not at all	7(4.9)
	About 10% or slightly less	7(4.9)
	About 25% of the workday	11(7.8)
	About 50% of the workday	29(20.4)
	75% or more of the workday	88(62.0)
8. Proportion of workday with static posture in present job	Almost never/not at all	26(18.8)
	About 10% or slightly less	20(14.5)
	About 25% of the workday	32(23.2)
	About 50% of the workday	31(22.5)
	75% or more of the workday	29(21.0)
9. I think my work should be finished quickly	Very often	25(17.9)
	Often	46(32.9)
	Sometimes	52(37.1)
	Seldom	15(10.7)
	Never	2(1.4)

Table 2. Responses to the questionnaire (continue)

Question	Responses	Numbers(%)
10. After work I am tired	Very often	32(22.7)
	Often	49(34.8)
	Sometimes	51(36.2)
	Seldom	6(4.3)
	Never	3(2.1)
11. After work I sweat	Very often	16(11.5)
	Often	20(14.4)
	Sometimes	67(48.2)
	Seldom	24(17.3)
	Never	12(8.6)
12. Subjective thinking of work hardening(Borg scale)	140(Numbers)	12.4±2.7(Mean±S.D)

Table 3. Item-total correlation

	Mean(S.D)	Intensity1	Intensity2	Total
Q1	3.01(1.12)	0.79	0.31	0.64
Q2	2.54(1.44)	0.62	0.14	0.45
Q3	2.86(1.49)	0.41	0.56	0.59
Q4	3.63(1.21)	0.29	0.71	0.62
Q5	3.19(1.28)	0.46	0.73	0.72
Q6	2.47(1.58)	-0.08	0.41	0.21
Q7	4.33(1.09)	0.19	0.58	0.50
Q8	3.13(1.39)	0.10	0.49	0.39
Q9	3.63(0.98)	0.70	0.35	0.62
Q10	3.76(0.97)	0.73	0.36	0.64
Q11	3.11(1.09)	0.74	0.29	0.58

Intensity1: non-posture factor (Q1, Q2, Q9, Q10, Q11) Intensity2: posture factor (Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8)

작업 후에 땀을 흘림은 가끔 그렇다(48.2%)가 가장 많았으며, Borg scale의 평균은 12.4±2.7이었다.

3. 척도화 가정(scaling assumption)에 대한 검정

작업강도를 평가하기 앞서 평가도구를 구성하는 척도에 대한 기본 가정을 만족하는지를 알아보았다. Table 3은 작업강도를 구성하는 각 문항에 대한 평균과 표준편차를 보여주고 있다. 같은 항목에 속하는 문항들의 표준편차는 비슷한 분포를 보이고 있다.

문항내적일치도를 보기 위하여 전체 점수 및 2개의 항목과 각 문항에 대해 상관관계를 구하였다. 또한 Table 3에 근거한 하위척도 두개의 문항내적일치도를 Table 4에 요약, 제시하였다. 작업강도 중 자세요인의 경우 문항-항목 상관관계의 범위가 0.41~0.73으로 다소 상관계수의 범위가 컸고, 비자세요인의 경우 문항-항목 상관관계의 범위가 0.62~0.79로 합당하였다. 그러나 총점수와 각 문항간 상관계수를 보면 자세요인 중 앉은 자세(문항 6)와 고정된 자세(문항 8)는 상관계수가 0.4이하였다.

문항판별타당도는 Table 3의 상관행렬표에서 동일한 행의 같은 개념을 지니는 항목의 상관계수와

Table 4. Results of Item Internal Consistency and Discriminant Validity

Scale	k[a]	Range of Correlation		Internal consistency[d]		Discriminant Validity[e]	
		Item Internal Consistency[b]	Item Discriminant validity[c]	Success/ Total	Success Rate(%)	Success/ Total	Success Rate(%)
Intensity1	5	.62 - .79	.14 - .36	5/5	100	5/5	100
Intensity2	6	.41 - .73	.08 - .46	6/6	100	6/6	100

[a]Number of item and number of item-internal consistency tests per scale.
[b]Correlation between items and hypothesized scale corrected for overlap.
[c]Correlation between items and other scale.
[d]Number≥0.40
[e]Number of correlations significantly higher/total number of correlations.
Intensity1: non-posture factor (Q1,Q2,Q9,Q10,Q11)
Intensity2: posture factor (Q3,Q4,Q5,Q6,Q7,Q8)

Table 5. Cronbach's αcoefficients

Scale	Cronbach's α
Intensity1	.74
Intensity2	.58
Total	.73

Intensity1: non-posture factor (Q1,Q2,Q9,Q10,Q11)
Intensity2: posture factor (Q3,Q4,Q5,Q6,Q7,Q8)

다른 개념을 의미하는 항목의 상관계수를 비교하여 검정하였다. 예를 들어 작업의 형태를 평가하는 문항 1의 경우 자세요인 항목의 상관계수 0.31보다 비자세요인 항목의 상관계수 0.79로 자세요인 항목의 상관계수보다 높기 때문에 항목판별타당도는 높다. 이와 같이 모든 항목에 대해 항목판별타당도를 구하여 Table 4에 제시하였고, 그 성공률은 100%였다.

4. 신뢰도 및 타당도

내적일치도를 알아보기 위해 Cronbach's α를 구한 결과 Table 5와 같다. 작업강도 전체 문항의 Cronbach's α는 0.73으로 만족할 만한 결과를 얻었다. 각 항목별로는 자세요인의 경우 0.58이었고, 비자세요인은 0.74였다.

타당도를 평가하기 위해 건강수준에 대한 요인분석을 시행한 결과 고유값 1.0 이상인 인자는 4개였다. 요인 1에는 비자세요인 문항들이 포함되었다. 요인 2는 자세요인 문항 3, 4, 5, 7이 분류되었으며, 요인 3에는 자세요인 문항 8이 선정되었으며, 요인 4에는 문항 6이 선정되었다(Table 6). 결론적으로 요인분석 결과 자세요인과 비자세요인으로 분류 선정됨을 확인하였다.

5. 작업 중 에너지 소모량과 설문문항과의 관련성

작업의 형태(p=0.008), 손을 어깨 위로 올리는 작업의 비율(p=0.002), 몸을 구부리는 작업의 비율(p=0.028), 불편한 자세를 취하는 작업의 비율(p=0.048), 작업 후에는 땀을 흘림(reverse coding) (p=0.006), 작업의 힘든 정도(Borg scale) (p=0.011) 등과 문항 1부터 11까지를 합산한 합산점수 (p=0.003)가 작업 중 에너지 소모량과 통계적으로 유의한 관계를 보였으며, 10 kg 이상의 물체를 드는 빈도(p=0.058), 작업 후에 피로를 느낌(reverse coding) (p=0.083) 등이 경계적 유의성을 가지는 것으로 분석되었다(Table 7).

고 찰

우리나라에서는 IMF 이후 구조 조정, 비정규직의 확대 등으로 작업인원수의 감소, 일인당 작업물량의 증가, 작업시간의 연장 등 전반적인 작업강도는 증가했을 것으로 생각되나, 아직까지 작업현장에서 작

Table 6. Factor analysis

Factor coefficients of individual questionnaire after rotation				
	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
Q1	0.75	0.22	-0.11	-0.27
Q2	0.37	0.34	-0.39	-0.12
Q3	0.49	0.39	0.12	-0.32
Q4	0.16	0.83	0.03	0.15
Q5	0.37	0.74	0.01	0.17
Q6	0.07	0.13	0.11	0.89
Q7	0.08	0.59	0.50	-0.27
Q8	0.14	0.09	0.82	0.09
Q9	0.76	0.04	0.23	0.04
Q10	0.81	0.09	0.09	-0.01
Q11	0.80	0.04	-0.21	0.28
Eigenvalue	3.66	1.46	1.13	1.05

Table 7. Correlation between working energy expenditure and questions

Questions	β	S.E.	p value
1. General physical activity in occupational work	0.1327	0.0492	0.008*
2. Frequency of manual handling of loads ≥ 10 kg in present job	0.0740	0.0388	0.058
3. Proportion of the workday with hands above shoulder level in present job	0.1184	0.0375	0.002*
4. Proportion of workday with trunk bent in present job	0.1085	0.0489	0.028*
5. Proportion of workday with awkward posture in present job	0.0903	0.0452	0.048*
6. Proportion of workday with sitting work posture in present job(reverse coding)	0.0216	0.0367	0.558
7. Proportion of workday with repetitive movement in present job	0.0404	0.0502	0.423
8. Proportion of workday with static posture in present job	-0.0097	0.0410	0.813
9. I think my work should be finished quickly (reverse coding)	0.0637	0.0587	0.280
10. After work I am tired(reverse coding)	0.1036	0.0594	0.083
11. After work I sweat(reverse coding)	0.1434	0.0517	0.006*
12. Subjective thinking of work hardening (Borg scale)	0.0534	0.0208	0.011*
Total scales(1-11)	0.0253	0.0083	0.003*

*, $p<0.05$

업 특성을 고려한 적절한 작업강도의 기준은 물론 이를 평가하려는 시도조차 많지 않은 것이 사실이다. 이에 본 연구에서는 생산과정 중의 전반적인 작업강도의 크기와 시간에 따른 강도의 변화를 파악하고, 작업량과 종류에 따른 인력, 속도 및 작업방법을 작업자의 능력에 적합화함으로써 작업자를 보호하고, 건강한 생산활동을 유지할 수 있는 기반을 마련하고자 하는 노력의 일환으로 생산과정 중의 전반적인 육체적 작업강도의 크기를 파악할 수 있는 설문지를 개발하고자 하였다.

외국에서는 작업강도를 평가하려는 목적으로 이미 여러 종류의 설문지가 개발되어 있으며, 그 중에서 주로 작업강도의 평가에 초점이 맞추어져 있고, 타당성과 객관성이 여러 연구를 통해 입증된 Tecumseh questionnaire, Baecke questionnaire와 Stockholm public health questionnaire를 참고로 하였다.

Tecumseh questionnaire는 Michigan의 Tecumseh 지역 주민의 지난 1년간의 작업 시 육체적 부하를 평가하기 위해 1965년 개발된 설문지로 지역 주민의 10%에 해당하는 성인 350명을 대상으로 1차 적용 및 검토과정을 거친 후 사용되었으며, 1988년 개정되었다. 타당성과 재현성이 여러 연구를 통해 검증되었는데, treadmill endurance를 이용한 Leon 등(1981)의 연구에서 상관계수가 0.45였으며 large-scale integrated motor activity monitor를 이용한 LaPorte 등(1982)의 연구에서 상관계수가 0.45, caltrac accelerometer를 이용한 Gretebeck 등(1993)의 연구에서 상관계수가 0.40으로 분석되었다.

Baecke questionnaire는 네덜란드 국민을 대상으로 작업 시/여가 활동 시 육체적 부하의 크기를 평가하기 위해 1982년 개발된 설문지로 응답자는 전혀 그렇지 않다(1점)에서 언제나 그렇다(5점)까지의 5점 체계로 응답을 하게 되어 있다. 이 역시 많은 연구를 통해 타당성이 검증되었는데 caltrac accelerometer를 이용한 Mahoney 등(1990)의 연구에서 상관계수가 0.53이었으며, 최대산소 소모량을 이용한 Jacobs 등(1993)의 연구에서 상관계수가 0.54로 분석되었다.

Stockholm Public Health Questionnaire 역시 작업 시 육체적 부하의 크기를 평가하기 위해 개발되었으며, Ola 등(2002)에 의하면 측정-재측정 일치도(test-retest agreement)는 0.74-0.92, 방법간 일치도(inter-method agreement)는 0.38-0.81로 적합하였으며, 설문문항 중 가장 낮은 상관계수를 보인 문항이 몸을 비트는 동작(Kw 0.38), 반복적인 동작(Kw 0.39)으로 이에 대해서는 수정 또는 보완이 필요할 것으로 분석되었다.

일차적으로 Tecumseh questionnaire와 Baecke questionnaire를 원문 그대로 번역하여 일개 사업장을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 타당도를 평가하기 위해 작업부하를 정량적으로 평가할 수 있는 작업 중 심박동수와 에너지 소모량을 측정하였다. 그 결과, 몇 가지 문제점이 발견되었는데, Tecumseh questionnaire의 경우 각 작업을 분류하고 여기에 주당 작업시간을 고려하여 소모되는 에너지의 정도를 MET(metabolic 의 약자, 작업시 에너지 소모량/휴식시 에너지 소모량(kilocalories)로 나타낼 수가 있으나 응답하기가 매우 까다롭고 시간이 많이 소요되어 작업현장에 적용하기는 문제가 있었으며, 또한 문항 자체가 서술형으로 되어있어 설문의 내용이 번역을 할 경우 쉽게 이해되기 어렵고, 각 항목별로 제시하고 있는 작업의 예가 국내 상황과는 맞지 않는 부분이 많아 그대로 적용하기는 어렵다고 판단이 되었다. Baecke questionnaire의 경우 MET를 산출할 수는 없지만 Tecumseh questionnaire에 비해 이해하기 쉽고, Likert 척도로 되어있어 점수화하기 간편한 장점이 있었다. 이러한 경험을 바탕으로 Tecumseh questionnaire와 Baecke questionnaire에서 필요한 부분을 발췌하고 Stockholm public health questionnaire를 이용하여 부족한 부분을 보완하여 한국적인 상황에 맞는 설문지를 개발하고자 하였다.

전반적인 작업의 형태(문항 1), 중량물의 취급빈도(문항 2), 작업자세와 반복적인 동작의 유무(문항 3-8) 등은 Stockholm public health questionnaire를 번역하고 Tecumseh questionnaire와 Baecke questionnaire의 동일 문항의 내용을 참고로 하였으며 작업속도와 피로감(문항 9-11)에 대한 문항은 Baecke questionnaire를 번역하고 Stockholm Public Health Questionnaire에서 사용하는 보기를 변형하여 개발하였다. 그리고 Borg scale로 측정한 주관적으로 평가하는 작업의 힘들기

(문항 12)를 포함시켰다. 또한, 기존의 설문지들의 신뢰도와 타당도 평가에 있어 육체적 작업부하를 하위척도로 나누어 평가한 적이 없다는 점과 실제 작업이 전반적인 육체적 활동과 관련된 작업과 국소적인 신체부위의 사용/자세에 관련된 작업으로 나뉜다는 점에 착안하여 설문문항을 비자세요인(문항 1, 2, 9, 10, 11)과 자세요인(문항 3, 4, 5, 6 ,7, 8)으로 나누어 평가하였다.

작업강도 평가에 앞서 분석을 제대로 이해하고, 점수가 가지는 의미를 적절하게 해석하기 위해서 문항들을 항목별로 묶어서 점수화하는데 필요한 척도화 가정을 문항내적일치도와 문항판별타당도를 통해 평가하였다. 문항 내적일치도는 각 항목과 그 항목의 개념을 공유하는 문항간의 상관표에서 겹쳐 있는 부분의 상관계수를 구하여 각 문항이 그 항목에 속할 수 있는지를 보았다. 만약 상관계수가 0.40이하이면 그 문항은 그 항목에 구성이 되기 어렵다고 볼 수 있다. 이 연구에서는 모든 문항이 이를 만족하여 성공률은 100%였다. 단 작업강도 전체 점수와의 비교에서 문항 6과 문항 8의 경우 상관계수가 다소 낮은 점은 향후 연구대상자를 더 확보하여 검토할 필요성이 있다.

문항판별타당도는 이미 개념화된 항목과 관련된 문항이 다른 항목과 구별되어 같은 의미의 항목 내에서 통일성을 지닐 수 있는가에 초점을 맞추고 있다. 이는 Table 3의 상관행렬표에서 동일한 행의 같은 개념을 지니는 항목의 상관계수와 다른 개념을 의미하는 항목의 상관계수를 비교하여 검정하였다. 본 연구에서 성공률은 100%로 적합한 결과를 보였다.

신뢰도는 측정도구를 어떤 대상에 여러 번 적용할 경우 동일한 결과를 보일 것인가에 대한 추정으로 자료의 질을 나타내는 방법 중의 하나이다. 본 연구에서는 여러 신뢰도 추정방법 중 내적 일관성 신뢰도를 선택하였으며, 모든 검사에 대한 반응의 일관성에 기초한 Cronbach's α계수를 구하였다. 작업강도 전체 및 2개 영역에 걸쳐 나타난 Cronbach's α계수는 비자세요인 항목이 0.74로 가장 높았으며, 작업강도 전체가 0.73, 자세요인이 0.58이었다. 본 연구에서 0.50을 기준(Helmstadter, 1964; Nunnally, 1978; Ware, 1993)으로 할 경우 모든 항목이 신뢰할 만한 측정도구로 인정받을 수 있으며, 집단용 설문지로 수용할 만 하다고 생각된다.

측정도구의 구성과 관련하여 신뢰도 계수에 관해 좀더 구체적으로 고찰해 보면, 신뢰도 계수는 측정도구 구성의 동질성 여부와 문항 수에 많은 영향을 받는다. 초기 설문지 구성의 경우 이질적 개념이 혼재됨으로 인해 신뢰도 계수는 낮은 결과를 보일 수 있고, 해석상의 어려움을 초래한 바 있다(Macmillan, 1957; Tyler와 Fiske, 1968). 다시 말해 동질성에 대하여 고려를 하지 않으면 문제가 발생하며, 신뢰계수는 낮은 경향을 보인다. 따라서 본 연구의 경우 작업강도를 평가하고, 구성의 동질성을 확보하기 위해 2개 영역 11개 문항으로 나누어 각 영역에 따라 같은 개념끼리 신뢰도를 산출하였다. 그 결과 자세요인의 경우 신뢰도 계수가 다소 낮았는데, 이는 총점수와 각 문항의 상관계수에서 문항 6, 8의 경우 0.4이하로 나온 결과와 연관이 있어 보인다. 특히 구성타당도에서도 4개로 추출된 요인이 자세요인의 경우 문항 6, 8이 하나의 요인으로 정리되지 못한 점과도 연결지어 고찰할 필요가 있다.

타당도는 연구자가 측정하고자 하는 것을 어느 정도 제대로 측정하였는가를 나타내주는 지표가 된다. 본 연구에서는 구성타당도를 사용하여 분석을 시행하였는데, 이는 작업강도의 개념이 조작적 정의에 입각해서 측정도구를 구성하고 있는 하부개념들이 조작적 정의에서 규명한 작업강도의 수준을 제대로 측정하는가를 보는 것으로 만약 연구 결과가 조작적으로 규정한 어떤 작업강도 수준의 특성을 제대로 측정하지 못하거나 다른 특성을 측정한다면, 구성타당도가 결여되어 있는 것이다. 구성타당도를 검정하는 방법은 상관계수법, 실험설계법, 인자분석 등이 있다(성태제, 1995). 상관계수법은 건강수준을 평가하기 위하여 이미 개념화한 항목과 각 문항에 대해 상관계수를 구하여 검정할 수 있는데, 본 연구에서는 척도화 가정을 통해 검토를 하였으며, Pernegner 등(1995)은 이러한 검정 방법을 내적타당성(internal validity)이라는 표현으로 쓰기도 하였다. 구성타당도를 검정하기 위하여 인자분석을 시행하였는데 이는 복잡하고 정의되지 않은 많은 변수들이 상호관계를 맺고 있어서 직접적으로 해석하기 어려운 여러 변수들 간의 구조적 연관관계를, 상관이 높은 변수들을 모아 요인으로 규명하고, 상대적으로 독립적이면서, 변수들의 저변구조(underlying structure)를 이해하기 위해 개념상 의미를 부여할

수 있는 인자들을 상정하여 그 의미를 부여하는 통계적 방법이다(김기영과 전명식, 1990). 따라서 본 연구에서는 작업강도의 수준을 측정하고자 하는 11개의 문항과 공통인자(common factor)간에 내재하는 인과관계를 탐구하고, 그 결과를 조작적 정의에서 설정한 2개의 항목과 비교해 보고자 탐색적 인자분석을 시행하였다. 탐색적 인자분석을 주축인자법과 직교회전법을 이용하여 시행한 결과, 고유값 1.0 이상인 요인이 4개였으며, 총 분산의 62.4%를 설명할 수 있었다. 요인 1에는 비자세요인 문항들이 포함되었다. 요인 2는 자세요인 문항 3, 4, 5, 7이 분류되었으며, 요인 3에는 자세요인 문항 8이 선정되었으며, 요인 4에는 문항 6이 선정되었다. 이는 작업강도 평가 항목 중 자세요인이 다소 혼재되어 있는 소견이며, 이후 연구 수행시 설문지 구성에 세심한 고려와 재조정이 필요함을 시사하는 결과라 하겠다. 앞서 수행한 문항내적일치도 소견과 비교해 볼 때, 전체 작업강도 점수와 각 문항간의 상관계수 중 문항 6과 문항 8의 낮은 상관계수가 인자분석에도 동일한 영향을 주고 있다고 생각된다. 그러나 인자분석을 통한 타당도의 검정은 대상집단이나 표본수가 다른 조사마다 인자구조가 달라질 수 있으므로 앞에서 제기한 다각적 접근을 통해 설문지로서의 근거는 마련되었다고 생각될 수 있으나 좀더 설문지 구성에 대한 연구가 지속되어야 할 필요성은 있다.

설문지 자체의 척도화 가정, 신뢰도 · 타당도 분석과 더불어 객관적인 지표와의 비교를 통한 타당도 검증을 위해 작업 중 심박동수와 이를 근거로 추정한 작업 중 에너지 소모량을 이용하였다. 육체적 부하를 측정할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으나 심박동수는 육체적 피로도의 한 지표로써 작업부하로 인한 신체의 피로도를 객관적으로 측정할 수 있는 지표이며, 현재까지 노동의 강도를 측정하는 가장 쉽고 간편하면서 객관적인 지표로 이용되고 있다(Montoye 등, 1970).

산소소모량은 에너지 소모량과 직접적인 관련이 있지만 실제 작업상황에서는 측정이 매우 어려우므로 작업시 에너지소모량을 추정하기 위해서는 측정이 용이한 심박동수가 주로 사용된다. 산소소모량과 심박동수는 직선적인 비례관계를 가지고 있으며, 심박동수가 증가할수록 산소소모량도 증가한다(Montoye, 1970) 체내에 흡수된 산소는 식품의 대사와 에너지 대사에 사용되며 약 4.8 kcal의 에너지를 방출하는데 산소 1ℓ가 사용된다. 따라서 산소섭취량을 측정하면 작업시 에너지의 소모량(Energy expenditure)을 직접 평가할 수 있다(McCormick, 1993).

본 연구에서는 자전거 에르고미터(Cycle ergometer)를 이용하여 각 작업자의 최대산소소모량을 측정하였으며, 여기에 심박동수 측정기를 이용하여 측정한 작업 중 심박동수를 대입하여 작업 중 산소소모량을 계산하였고, 이를 에너지 소모량으로 환산하였다. 이러한 과정을 거쳐 구한 작업 중 에너지 소모량을 종속변수로 하고 설문문항을 독립변수로 하여 선형회귀분석을 실시하여 설문문항과 에너지 소모 사이에 상관관계가 존재하는지를 평가함으로써 설문문항의 타당도를 평가하고자 하였다.

작업의 형태(p=0.008), 손을 어깨 위로 올리는 작업의 비율(p=0.002), 몸을 구부리는 작업의 비율(p=0.028), 불편한 자세를 취하는 작업의 비율(p=0.048), 작업 후에는 땀을 흘림(reverse coding) (p=0.006), 작업의 힘든 정도(Borg scale) (p=0.011) 등이 통계적으로 유의하였으며, 10 kg 이상의 물체를 드는 빈도(p=0.058), 작업 후에 피로를 느낌(reverse coding) (p=0.083) 등이 경계적 유의성을 가지는 것으로 분석되었다. 또한 설문 문항을 합산한 점수가 전체적으로 에너지소모량과 관련성이 있는지를 본 결과 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다 (p=0.003),

Stockholm public health questionnaire의 타당도 평가(Ola 등, 2002)에서는 몸을 비트는 동작을 취하는 작업의 비율을 묻는 문항 5가 다른 문항에 비해 타당도가 떨어지는 것으로 분석되었으나 본 연구에서는 쪼그린 자세에서 앉아서 일을 하는 작업의 비율을 묻는 문항 6과 고정된 자세를 취하는 작업의 비율을 묻는 문항 8번이 작업 중 에너지 소모량과의 관련성이 상당히 낮게 분석되었다. 문항 6의 경우 작업의 형태와 소요되는 힘에 대한 고려가 없었기 때문에 관련성이 낮게 분석된 것으로 생각되며 차후에 이러한 부분을 보완하여 설문을 개발하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 문항 8의 경우에도 작업의 형태와 소요되는 힘에 대한 고려가 없었으며, 분석결과에서 상관계수가 -0.009로 고정된 자세로 작업을 하는 시간이 적어질수록 높은 점수를 주는

척도를 고려할 수도 있으나 이는 쉽게 판단할 수 있는 문제가 아니며 향후 좀 더 대규모의 표본을 대상으로 한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이상의 설문지 자체의 척도화 가정, 신뢰도와 타당도 분석, 객관적인 측정지표와의 상관성 분석 등의 결과를 바탕으로 할 때 본 연구에서 개발한 육체적 작업강도 평가 설문지는 문항 6과 8의 수정이 필요할 것으로 생각되나, 문항 6과 8을 제외한 나머지 문항의 결과가 유의 하거나 또는 경계적 유의성을 가졌으며, 전체 문항의 합산점수가 유의한 결과를 보여주었으므로 본 연구에서 개발한 설문지는 신뢰도와 타당도를 가지는 것으로 판단되며, 향후 좀 더 대규모의 표본을 대상으로 한 연구를 통해 문항 6과 8을 수정하는 작업과 신뢰도를 보다 정확하게 검증하기 위해 test-retest 등을 실시한다면 보다 나은 설문항목의 개발과 수정이 가능할 것으로 판단된다.

요 약

목적: 육체적 작업강도를 평가하는 설문지를 개발하고 신뢰도 및 타당도를 분석하고자 본 연구를 실시하였다.

방법: 주물생산 일개 사업장(30명), 전동차 정밀조립 일개 사업장(30명), 조선소 일개 사업장(75명), 자동차 생산 일개 사업장(85명) 등 총 4개 사업장의 근로자 220명을 대상으로 하여 설문조사와 육체적 부하를 측정하였다. 현재 통증이 있거나 치료를 받고 있는 근로자는 대상에서 제외하였으며, 설문에 50%이상 응답하지 않았거나 작업 중 심박동수가 제대로 측정되지 않은 근로자 66명을 제외한 154명(주물생산 일개 사업장 19명, 전동차 부품 정밀 조립 일개 사업장 29명, 조선소 일개 사업장 37명, 자동차 생산 일개 사업장 69명)을 대상으로 분석을 시행하였다(설문응답자의 70.0%). 설문지의 타당성 검토를 위하여 설문지 자체의 척도화 가정, 신뢰도와 타당도를 분석하였으며, 객관적인 척도와의 비교를 위하여 선형회귀분석을 시행하였다.

결과: 척도화 가정(scaling assumption)에 대한 검정에서 같은 항목에 속하는 문항들의 표준편차는 비슷한 분포를 보였으며, 문항내적일치도는 자세요인(문항 3, 4, 5, 6, 7, 8)이 0.41-0.79이었고, 비자세요인(문항 1, 2, 9, 10, 11)의 경우 0.62-0.79였다. 내적일치도와 문항판별타당도는 100%였으며, 작업강도 전체 문항의 신뢰도 계수는 0.73이었으며 자세요인의 경우 0.58, 비자세요인은 0.74였다. 작업 중 에너지 소모량과의 상관분석에서 작업의 형태(p=0.008), 손을 어깨 위로 올리는 작업의 비율(p=0.002), 몸을 구부리는 작업의 비율(p=0.028), 불편한 자세를 취하는 작업의 비율(p=0.048), 작업 후에는 땀을 흘림(reverse coding) (p=0.006), 작업의 힘든 정도(Borg scale) (p=0.011), 문항 1부터 11까지의 합산점수 (p=0.003), 등이 통계적으로 유의하였다.

결론: 본 연구에서 개발한 육체적 작업강도 평가 설문지는 문항 6과 8을 제외한 나머지 문항의 결과가 유의하거나 또는 경계적 유의성을 가졌으며, 전체 문항의 합산점수가 유의한 결과를 보여주었으므로 신뢰도와 타당도를 가지는 것으로 생각되며, 향후 좀 더 대규모의 표본을 대상으로 한 연구를 통해 문항 6과 8을 수정하는 작업과 test-retest 등을 통한 신뢰도 검증을 실시할 경우 보다 나은 문항개발과 수정이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

김기영, 전명식. SAS 인자분석. 서울: 자유아카데미, 1990.

성태제. 타당도와 신뢰도. 서울: 양서원, 1995.

Baecke JAH, Burema J, Frytters JER. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. Amer J Clin Nutri 1982;36:932-42.

Blair SN, Haskell WL, Ho P, Paffenbarger RS Jr, Vranizan KM, Farquhar JW, Wood PD. Assessment of habitual physical activity by seven-day recall in a community survey and controlled experiments. Amer J Epidemio 1985; 122:794-804.

Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exc. 1982;14:377-81.

Dannenberg AL, Wilson PWE. Assessing physical fitness and physical activity in population-based surveys. Washington, DC: U.S. Goverment Printing Office, 1989.

Gretebeck, RJ, Montoye H, Porter W. Validation

of a portable accelerometer for estimating energy expenditure using doubly labeled water. Manuscript submitted for publication, 1993.
Helmstadter GC. Principles of psychological measurement. New York: Appleton-Century-Crofts, Inc. 1964.
Jacobs D, Anisworth B, Hartman T, Leon A. A simultaneous evaluation of ten commonly used physical activity questionnaire. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1993;25:81-91.
LaPorte R, Cauley J, Kinsey C, Corbett W, Robertson R, Black-Sandler R. The epidemiology of physical activity in children, college students, middle-aged men, menopausal females and monkeys. J Chr Disea. 1982;35:787-95.
Leon A, Jacobs D, DeBacker G, Taylor H. Relationship of physical characteristics and life habits to treadmill exercise capacity. Amer J Epidemio. 1981;113:653-60.
Macmillan AM. The health opinion survey: Technique for estimating prevalence of psychoneurotic and related types of disorder in communities. Psychological Reports 1957;3:377-87.
Mahoney M, Freedson P. Assessment of physical activity from Caltrac and Baecke questionnaire techniques. Medicine and Science in Sports and Exercise. 1990;22:s80.
McCormick EJ. Human factors in engineering and design(4th ed.). New York: McGraw-Hill, 1993.
Montoye H, Cunningham D, Welch H, Epstein F. Laboratory methods for assessing metabolic capacity in a large epidemiologic study. Ameri J Epidemio 1970;91:38-74.
Montoye HJ. An introduction to measurement in physical education, Vol. 4. Indianapolis. IN: Phi Epsilon Kappa Fraternity, 1970.
Montoye HJ. Physical activity and health: An epidemiologic study of an entire community. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1975.
Nunnally JC. Psychometric theory, 2nd edition. New York: McGraw-Hill, 1978.
Ola L, Christina W, Annika H. Validity of a self-administered questionnaire for assessing physical work loads in a general population. J Occup Environ Med. 2002;44:724-35.
Paffenbarger RS Jr, Blair SN, Lee IM, Hyde RT. Measurement of physical activity to assess health effects in free-living populations. Medicine and Science in Sports and Exercise 1993;25:60-70.
Perneger TV, Leplege A, Etter JF, Rougemont A. Validation of a French-Language version of the MOS 36-Item short form health survey (SF-36) in young healthy adults. J cli Epidemio 1995; 48(8):1051-60.
Shapiro S, Weinblatt E, Frank CW, Sager RV, Densen PM. The H.I.P. study of incidence and diagnosis of coronary heart disease: Methodology. J Chr Disease 1963;16:1281-92.
Tyler TA, Fiske DW. Homogeneity indices and text length. Educational and Psychological Measurement 1968;28:767-78.
Ware JE. Measuring patients ' views: the Optimum outcome measure. BMJ 1993;306:1429-30.
Ware JE. SF-36 Health Survey. Manual & Interpretation Guide. Boston, MA.: The Health institute, 1993.
Yasin, S. Measuring habitual leisure-time physical activity by recall record questionnaire. In M.J. Karvonen & A.J. Barry(Eds.), Physical activity and the heart(pp.372-3). Springfield, IL: Charles C Thomas, 1967.