

수작업의 반복성 평가 방법 비교 및 분석

A comparison of repetitiveness assessment methods for hand intensive tasks

권오채, 선미선, 유희천

포항공과대학교 기계산업공학부

Abstract

본 연구의 목적은 수작업 반복성 평가의 체계적인 연구를 위해 최근 5년간의 반복성에 관한 기존 연구 30여 편을 중심으로 반복성 평가 방법들을 조사하여 비교 분석하는 것이다. 기존 연구들의 비교 분석 결과, 평가하고자 하는 반복성의 근본적인 이해가 부족하여 반복성 정의에 대한 일관성이 없을 뿐만 아니라 반복 수준의 구분 기준에 대한 척도간 비교가 어렵고 결과의 일관성도 없었다. 본 연구에서는 기존 연구들의 부분별한 평가로 인한 문제점을 해결하기 위하여 시간(time)과 빈도수(frequency)를 기준으로 하는 평가 척도의 새로운 분류 체계를 제안하였다. 마지막으로 평가 척도의 측정과 분석에 사용되는 방법들을 조사하여 정리하였다. 본 연구의 결과는 수작업의 반복성 평가를 위한 척도의 사용지침을 제공할 뿐 아니라 추후 반복성 평가의 체계적인 방법론을 구축하는데 근간이 될 수 있을 것이다.

1. 서론

수작업의 주기적인 성질을 나타내는 반복성은 수작업으로 인해 손가락, 손목, 팔 등 상지에 발생하는 근골격계 질환의 주요 원인들 중 하나이다. 반복성의 문제는 과도한 힘의 사용이나 부자연스러운 관절의 움직임 등의 문제들과 더불어 수작업의 위험한 요인으로 알려져

있다(Putz-Anderson, 1988; NIOSH, 1997). 반복성의 문제는 다른 위험 요인과 독립적으로 상지의 질환에 심각한 영향을 끼칠 수 있는 것으로 알려져 있다(Colombini, 1998; Silverstein et al., 1987). 예를 들어, Latko et al.(1999)에 의하면 반복성의 문제가 상지의 힘줄이나 신경 질환들과 상관관계를 가진다고 하였으며, NIOSH(1997)에서는 반복성과 carpal tunnel syndrome(CTS)간에 밀접한 인과관계가 있다고 기술하였다. 그리고, Kuorinka and Forcier(1995)는 상지의 반복적인 움직임이 cumulative trauma disorders(CTDs)를 발생시키는 가장 중요한 위험 요인이라고 주장하였다.

수작업의 반복성에 관한 연구가 지금까지 많이 수행되어 왔음에도 불구하고, 반복성 평가에 사용된 척도나 방법에 대한 고찰은 부족한 실정이다. 반복성 연구에서 사용되는 평가 척도나 측정/분석 방법들에 대한 명확한 적용 기준이 없을 뿐만 아니라, 사용된 평가 척도로 인한 반복성의 결과에서도 비교가 어렵거나, 가능하다 할지라도 일관성이 존재하지 않는다. 예를 들면, 반복성의 구분 기준으로 Carey and Galloway(2002)와 Yen and Radwin(2000)은 3~6초를 제안한 반면, Hansson et al.(2000)은 1.9~3.6초를 제시하고 있다. 따라서, 수작업 반복성 평가를 위해서는 평가방법에 대한 체계적인 분류와 관련 적용 기준 등이 수립되어야 한다.

본 연구에서는 기존의 수작업 반복성 평가 연구를 기준으로 반복성의 평가에 사용된 방법

들을 정리하였다. 먼저, 수작업 반복성 평가의 체계적인 연구를 위해 최근 5년간의 반복성에 관한 기존 연구 30여 편을 중심으로 반복성 평가 방법들을 조사하였다. 결과적으로 반복성의 정의 및 구분 기준들을 정리하고, 기존 연구에서 사용된 수작업의 반복성 평가 척도에 대한 속성을 분석하여 새로운 분류체계를 구축하며, 평가 척도의 측정 및 분석에 사용되는 방법들을 조사하여 정리하였다. 본 연구의 결과는 수작업의 반복성 평가 시 사용할 척도와 측정 및 분석 방법에 대한 기준이 될 수 있으며, 이로 인한 반복성 평가 척도에 따른 결과의 일관성을 제고할 수 있을 것이다.

2. 반복성 정의

반복성이란 동일한 작업이나 동작이 반복적으로 수행되는 정도를 의미하는 것으로 기존 연구에서 사용된 반복성의 기술적 정의들은 표 1과 같이 크게 관절 운동, 몸 동작, 힘 적용의 세 가지로 구분된다. 관절 운동의 경우에는 단위 시간당 손목 변화에 대한 빈도수에 근거하였으며, 몸 동작의 경우에도 단위 시간당 정의된 동작의 빈도수를 이용하였다. 그리고, 힘의 기준을 초과하는 횟수를 기준으로 반복성을 정의하기도 하였다.

3. 반복성 구분 기준

반복성 구분 기준은 사용하는 척도에 따라 상이하였으며, 표 2는 수작업의 반복성을 평가할 때 사용된 반복성의 구분 기준들을 정리한 것이다. 반복성의 구분 기준이란 수작업의 반복성 정도에 대한 높고 낮음을 판단할 수 있는 기준을 의미한다. 표 2에서 사용된 척도 유형은 크게 주기 시간(cycle time)과 관절 운동(joint motion)으로 분류된다.

표 1. 반복성의 기술적 정의 - 상지 수작업

구분	출처	정의
관절 운동	Malchaire et al. (1996)	손목의 중심위치(0°)로부터 한계 위치(편향에서는 최대변위의 50% 이상, 굴곡/신전에서는 최대 변위의 60% 이상)로의 분당 움직임의 횟수
	Coury et al. (2000)	일정시간 동안 손목 관절이 5°이상 변화하는 횟수
	Spicholz et al. (2001)	분당 정의된 각변위의 각도(굴곡 /신전 30°, 요골편향 10°, 척골편향 15°, 내전/외전 45°)를 지나 중심위치(0°)로 돌아오는 움직임의 횟수
몸 동작	Genaidy et al. (1993)	일정시간 동안의 움직임 횟수나 작업 활동 횟수
	Colombini (1998)	단위 시간당 정의되어진 기술적 동작(technical action)의 수행 횟수
힘 적용	Malchaire et al. (1997)	분당 힘의 평균 수용 한계점 (mean acceptable contraction; 15% MVC*) 이상에 달하는 횟수

*: Maximum voluntary contraction

먼저, 주기 시간을 이용한 척도 유형에는 작업 주기 시간과 근본적(fundamental) 작업 주기 시간이 있다. Silverstein et al.(1986)은 작업 주기 시간이 30초보다 작거나 작업 주기 시간 중 동일한 동작이 50% 이상일 때를 반복성이 높은 작업이라 하였고, 작업 주기 시간이 30초보다 크고 작업 주기 시간 중 동일한 동작이 50% 미만일 때를 반복성이 낮은 작업이라 정의하였다. Hansson et al.(1996)은 근본적 작업 주기 시간의 정도에 따라 2초 미만, 2~5초, 5~10초, 10초 이상의 4가지 분류를 사용하여 반복성을 구분하였다.

관절 운동에 근거한 척도 유형에는 관절 운동의 횟수와 mean power frequency(MPF), 그리

고 관절 운동의 속도가 있다. 산업현장에서 손 동작의 반복성을 평가할 때 사용하는 관절 운동 횟수의 전형적인 기준으로는 분당 10~20회 (Carey and Gallwey, 2002; Yen and Radwin, 2000) 또는 4~15회(Lin et al., 1997)가 주로 사용된다. Hansson et al.(2000)은 반복성의 평가 방법으로 mean power frequency(MPF)를 사용하였는데, 값

이 0.28Hz 이하일 경우를 낮은 반복성을 가진 작업, 0.53Hz 이상인 작업을 높은 반복성을 가진 작업으로 분류하였다. 마지막으로 Marras and Schoenmarklin(1993)은 손목의 작업 속도를 사용하여 굴전/신전은 28.7~42.2 deg/sec, 편향은 17~25.9 deg/sec, 내/외전은 67.7~91.3 deg/sec의 평균 속도를 반복성으로 평가하였다.

표 2. 반복성의 구분 기준 - 상지 수작업

구분	척도	기준	출처	
높은 반복성	주기	작업 $CT^1 < 30s$ or same motions for $CT > 50\%$	Silverstein et al. (1986)	
	시간	근본적 $FCT^2 < 2s$	Hansson et al. (1996)	
	관절 동작	횟수	$NM^3 > 20$ motions/min	Carey and Gallwey (2002) Yen and Radwin (2000)
		MPF ⁴	$MPF > 0.53Hz$	Hansson et al. (2000)
	속도	F/E ⁵ : $VM^7 > 42.2$ deg/sec R/U ⁶ : $VM > 25.9$ deg/sec	Marras and Schoenmarklin (1993)	
보통 반복성	주기	근본적 $2s < FCT < 10s$	Hansson et al. (1996)	
	시간	작업		
	관절 동작	횟수	10 motions/min $< NM < 20$ motions/min	Carey and Gallwey (2002) Yen and Radwin (2000)
		MPF	$0.28Hz < MPF < 0.53Hz$	Hansson et al. (2000)
	속도	F/E: 28.7 deg/sec $< VM < 42.2$ deg/sec R/U: 17 deg/sec $< VM < 25.9$ deg/sec	Marras and Schoenmarklin (1993)	
낮은 반복성	주기	작업 $30s < CT < 2min$ and same motions for $CT < 50\%$	Rodgers (1986)	
	시간		Silverstein et al. (1986)	
		근본적 $10s < FCT < 30s$	Hansson et al. (1996)	
		작업	Konz (1990)	
관절 동작	횟수	$NM < 10$ motions/min	Carey and Gallwey (2002) Yen and Radwin (2000)	
	MPF	$MPF < 0.28Hz$	Hansson et al. (2000)	
	속도	F/E: $VM < 28.7$ deg/sec R/U: $VM < 17$ deg/sec	Marras and Schoenmarklin (1993)	

(Notes) ¹Cycle time; ²Fundamental cycle time; ³Number of motions; ⁴Mean power frequency; ⁵Flexion/extension;

⁶Radial/ulnar deviation; ⁷Velocity of motion

4. 반복성 평가 척도 분류

반복성의 평가 척도라 함은 반복성을 정량적으로 평가함에 있어 기준이 되는 요소를 의미한다. 예를 들어, 전체 작업 시간(Babski-Reeves and Crumpton-Young, 2002; Juul-Kristensen et al., 2001; Ketola et al., 2001)과 손목 관절의 사용 횟수(Carey and Galloway, 2002; Spieholz et al., 2001; Hansson et al., 2000) 등이 있다.

본 연구에서는 반복성 평가 척도를 분류하기 위해 학술 database검색 결과로 얻어진 30여 편의 문헌을 통해 반복성 평가에 사용된 모든 평가 척도들을 추출하고 공통 요소와 특성들을 파악한 후, 이를 체계적으로 분석하였다. 결과적으로 반복성의 평가 척도들은 차원(dimension)을 고려한 대분류와 분석 대상의 형태(type of focus)를 고려한 소분류를 기준으로 표 3과 같이 분류되었다. 평가 척도의 차원은 시간(time)과 빈도수(frequency)로 구분되는데, 시간에 근거한 반복성 평가 척도의 개념은 하나의 작업이나 동작 등에 걸리는 시간의 길이를 의미하며, 빈도수에 근거한 개념은 단위시간당 발생한 작업이나 동작 등의 횟수를 의미한다. 그리고, 반복성의 척도 중 하나로 사용되는 속도는 단위시간당 변위로서 빈도수의 개념에 포함되었다.

시간과 관련된 척도들의 소분류로는 적용된 분석 대상의 형태에 따라 작업 시간, 휴식 시간, 그리고 작업시간과 휴식시간의 비율로 구분된다. 작업 시간의 평가 척도 중 작업주기 시간은 반복적인 작업을 평가하는데 기본이 되는 중요한 모수이며(Silverstein et al., 1986), 근본적 작업주기시간도 유용한 반복성의 척도가 될 수 있다. 이 때, 근본적 작업주기라는 것은 작업주기 내에 존재하고 있는 작은 작업주기를 말한다. 그러나, Christensen et al.(2000)에 따르면 작업주기와 관련된 시간보다 작업/휴식시간의

패턴이 더 중요하다고 하였다.

빈도수와 관련된 척도들의 소분류는 사용된 분석 대상의 형태에 따라 작업 횟수, 몸 동작 횟수, 관절 운동 횟수, 힘 적용 횟수로 구성되었다. 몸 동작의 경우에는 평가하고자 하는 상지 부위에 따라 손가락, 손과 손목, 손과 팔의 세 가지 척도를 적용할 수 있으며, 관절 운동의 경우에도 평가하고자 하는 상지 관절에 따라 손가락, 손목, 팔꿈치, 어깨의 네 가지 척도를 적용할 수 있다. 특히, 관절 운동의 경우에는 각 관절의 자유도에 따른 변위를 구분적으로 사용할 수도 있다.

표 3. 반복성의 평가 척도 분류

차원	형태	척도
시간 (time)	작업 (work)	전반적(overall)
		근본적(fundamental)
	휴식 (rest)	작업 내(within task) 작업 간(between tasks)
W/R 비율 (ratio)		전반적(overall)
		근본적(fundamental)
빈도수 (frequency)	작업 (work)	전반적(overall) 근본적(fundamental)
	몸 동작 (body movement)	손가락(finger)
		손과 손목(hand and wrist)
		손과 팔(hand and arm)
	관절 운동 (joint motion)	손가락(finger)
		손목(wrist)
		팔꿈치(elbow) 어깨(shoulder)
힘 적용 (force exertion)	Power	
	Pinch	

5. 반복성 측정 및 분석 방법

반복성의 측정 방법이란 반복성 평가에 기준이 되는 평가 척도의 측정을 위한 방법을 의

미하며, 분석 방법은 측정된 값을 구체적인 반복성의 값으로 분석하는 방법을 의미한다. 예를 들어, stopwatch(Babski-Reeves and Crumpton-Young, 2002; Ketola et al., 2001)나 video(Juul-Kristensen et al., 2001; Spieholz et al., 2001), electrogoniometer(Carey and Gallway, 2002; Hansson et al., 2000), visual analogue scale(VAS; Armstrong et al., 2002; Carey and Gallway, 2002; Latko et al., 1999, 1997) 등이 반복성을 측정할 때 주로 사용되는 방법들이며, 분석 방법으로는 통계적 분석 방법과 spectral(spectral) 분석 방법(Juul-Kristensen et al., 2001; Hansson et al., 2000; Yen and Radwin, 2000, 1999) 등이 있다. 반복성의 측정 및 분석 방법의 조사를 위한 기존 문헌으로는 반복성의 평가 척도 조사에 사용된 문헌이 이용되었다. 검색된 문헌을 통해 반복성의 평가 척도와 유사한 방법으로 반복성 평가에 사용된 모든 측정 방법과 분석 방법들을 추출하였다.

결과적으로 추출된 측정 방법들은 표 4와 같이 객관적(objective) 측정법과 주관적(subjective) 측정법으로 분류되었다. 반복성의 객관적 측정 방법 중 electrogoniometer는 반복적인 작업에서 각도를 측정하기에 가장 적당한 장비이다. Moore et al.(1991)은 electrogoniometer가 긴 시간 측으로 인해 손목의 움직임에 기록하는 동안 최대 11%의 cross-talk문제가 있다고 주장하였으나, Coury et al.(2000)이 이러한 오류(error)는 각도를 직접 비교하는 것이 아니라면 랜덤화 되어지므로 문제가 될 수 없다고 반박하였다. 더욱이 Coury et al.(2000)은 cross-talk이 각도 측정에 영향을 준다는 보고는 많았지만 반복 빈도수 측정에 영향을 준다는 보고는 한번도 없었다는 서술하였다. 이에 반해 주관적으로 관찰하는 측정 방법은 상대적으로 비용이 적게 들고 융통성과 일반성이 있으며, 정밀성도 무난하다는 장점을 가지고 있다(Vander-Beek and Frings-Dresen, 1998; Winkel and

Mathiassen, 1994). 그러나, 결과의 신뢰성과 정확성, 타당성에 문제가 있을 수 있다. 측정 방법들간의 비교에 있어 Juul-Kristensen et al.(2001)은 기준점과 측정 변수의 차이로 직접적인 비교는 불가능하다고 하였으나, Spieholz et al.(2001)은 상지의 반복성 측정방법을 주관적 평가, 관찰적 방법, 직접 측정법의 세 가지로 분류하여 비교한 후 직접 측정법이 신뢰성 측면에서 가장 유의하게 좋다는 결과를 보였다.

표 4. 대표적인 반복성의 측정 방법

분류	설명	예
객관적 방법	측정 장비를 이용하여 객관적으로 반복성을 측정하는 방법	Stopwatch, video, electrogoniometer, electromyography (EMG)
주관적 방법	여러 가지 범주나 일정한 비율구간 내에서 특정 값을 선정하는 방법	Rating index (RI), checklist, visual analogue scale (VAS)

반복성의 정량적인 평가를 위해 측정된 결과들은 평균과 표준편차 등과 같은 통계적 방법으로 분석되는 경우가 대부분이지만, spectral 분석이 이용되는 경우도 있다. 반복성을 정량화하기 위해 Radwin and Lin(1993)이 제안한 spectral 분석은 방대한 양의 데이터를 효과적으로 분석할 수 있는 방법으로 주파수가 반복율에 일치하며, sub-cycle에 대한 주파수 정보도 제공해 준다. 그리고, spectral 분석을 이용하여 반복성의 일반적인 척도로 많이 사용되는 mean power frequency(MPF)는 주파수 성분의 power로 결정되는 가중치가 고려된 주파수 가중 평균을 의미하는데, 관찰만으로는 반복성을 정의하기 힘들거나 불가능한 복잡하거나 불규칙한 관절 운동에 쉽게 적용할 수 있다(Hansson et al., 1996).

6. 결론

본 연구에서는 수작업의 반복성 평가 연구에 사용되는 반복성의 정의 및 구분 기준을 요약하고, 기존에 사용된 평가 척도들의 속성을 파악한 후 체계적으로 분류하였으며, 측정 및 분석 방법들을 정리하였다.

이를 위해, 기존 수작업의 반복성 연구에서 사용된 여러 가지 평가 척도와 측정 및 분석 방법들을 조사하여 속성을 파악하고 공통 요소들을 추출하였다. 결과적으로 반복성의 평가 척도들은 시간과 빈도수 측면에서 크게 분류되었으며, 세부적으로는 분석 대상의 형태에 따라 분류되었다. 관련된 측정 방법들은 주관적 측정법과 객관적 측정법으로 구분되었으며, 분석 방법들은 통계적 분석법과 spectral 분석법으로 구분되었다.

참고문헌

- Armstrong, T.J., Marshall, M.M., Martin, B.J., Foulke, J.A., Grieshaber, C., and Malone G. (2002). Exposure to forceful exertions and vibration in a foundry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30, 163-179.
- Babski-Reeves, K.L., and Crumpton-Young, L.L. (2002). Comparisons of measures for quantifying repetition in predicting carpal tunnel syndrome. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30, 1-6.
- Carey, E.L. and Gallway, T.J. (2002). Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 85-94.
- Christensen, H., Sogaard, K., Pilegaard, M., and Olsen, H. (2000). The importance of the work/rest pattern as a risk factor in repetitive monotonous work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 367-373.
- Colombini, D. (1998). An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41 (9), 1261-1289.
- Coury, H.J.C.G., Leo, J.A., and Kumar, S. (2000). Effects of progressive levels of industrial automation on force and repetitive movements of the wrist. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 587-595.
- Genaidy, A.A.M., Al-Shedi, A., and Shell, R.L. (1993). Ergonomic risk assessment: preliminary guidelines for analysis of repetition, force and posture. *Journal of Ergology*, 22, 45-55.
- Hansson, G.A., Balogh, I., Ohlsson, K., Palsson, B., Rylander, L., and Skerfving, S. (2000). Impact of physical exposure on neck and upper limb disorders in female workers. *Applied Ergonomics*, 31, 301-310.
- Hansson, G.A., Balogh, I., Ohlsson, K., Rylander, L., and Skerfving, S. (1996). Goniometer measurement and computer analysis of wrist angles and movement applied to occupational repetitive work. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 6 (1), 23-35.
- Juul-kristensen, B., Hansson, G.A., Fallentin, N., Andersen, J.H., and Ekdahl, C. (2001). Assessment of work postures and movements using a video-based observation method and direct technical measurements. *Applied Ergonomics*, 32, 517-524.
- Ketola, P., Toivonen, R., and Viikari-Juntura, E. (2001). Interobserver repeatability and validity of an observation method to assess physical loads imposed on the upper extremities. *Ergonomics*, 44 (2), 119-131.
- Konz, S. (1990). *Work Design: Industrial*

- Ergonomics* (2nd ed.). Columbus: Grid Pub.
- Kuorinka, I., and Forcier, L. (1995). *Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs): A reference Book for Prevention*. London: Taylor & Francis.
- Latko, W., Armstrong, T., Foulke, J., Herrin, G., Rabourn, R., and Ulin, S. (1997). Development and evaluation of an observational method for assessing repetition in hand tasks. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 58 (4), 278-285.
- Latko, W., Armstrong, T., Franzblau, A., Ulin, S., Werner, R., and Albers, J. (1999). A cross-sectional study of the relationship musculoskeletal disorders. *American Journal of Industrial Medicine*, 36, 248-259.
- Malchaire, J.B., Cock, N.A., Piette, A., Dutra-Leao, R., Lara, M., and Amaral, F. (1997). Relationship between work constraints and the development of musculoskeletal disorders of the wrist: A prospective study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 471-482.
- Malchaire, J.B., Cock, N.A., and Robert, A.R. (1996). Prevalence of musculoskeletal disorders at the wrist as a function of angles, forces, repetitiveness and movement velocities. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 22, 176-181.
- Marras, W.S., and Schoenmarklin, R.W. (1993). Wrist motion in industry. *Ergonomics*, 36 (4), 341-351.
- Moore, A., Wells, R., and Ranney, D. (1991). Quantifying exposure in occupational manual tasks with cumulative trauma disorder potential. *Ergonomics*, 34 (12), 1433-1453.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1997). *Musculoskeletal Disorders (MSDs) and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back* (2nd printing). Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services (DHHS).
- Putz-Anderson, V. (1988). *Cumulative Trauma Disorders: A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs*. New York: Taylor & Francis.
- Radwin, R.G., and Lin, M.L. (1993). An analytical method for characterizing repetitive motion and postural stress using spectral analysis. *Ergonomics*, 36 (4), 379-389.
- Rodgers, S. (1986). *Ergonomic Design for People at Work*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Silverstein, B.A., Fine, L.J., and Armstrong, T.J. (1986). Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43, 779-784.
- Silverstein, B.A., Fine, L.J., and Armstrong, T.J. (1987). Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *American Journal of Industrial Medicine*, 11, 343-358.
- Spieholz, P., Silverstein, B., Morgan, M., Checkoway, H., and Kaufman, J. (2001). Comparison of self-report, video observation and direct measurement methods for upper extremity musculoskeletal disorder physical risk factors. *Ergonomics*, 44 (6), 588-613.
- Vander-Beek, A.J., and Frings-Dresen, M.H.W. (1998). Assessment of mechanical exposure in ergonomic epidemiology. *Occupational and Environmental Medicine*, 55, 291-299.
- Winkel, J., and Mathiassen, S.E. (1994). Assessment of physical workload in epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations. *Ergonomics*, 37, 979-988.

Yen, Y.T., and Radwin, R.G. (1999). Automated job analysis using upper extremity biomechanical data and template matching. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 19-28.

Yen, Y.T., and Radwin, R.G. (2000). Comparison between using spectral analysis of electrogoniometer data and observational analysis to quantify repetitive motion and ergonomic changes in cyclical industrial work. *Ergonomics*, 43 (1), 106-132.