

## Parotec System을 이용한 족저압 측정의 신뢰도

노정석, 김택훈  
한서대학교 물리치료학과

### Abstract

### Reliability of Plantar Pressure Measures Using the Parotec System

Roh Jung-suk, M.Sc., P.T.  
Kim Tack-hoon, M.P.H., P.T.  
Dept. of Physical Therapy, Hanseo University

In-shoe measurement systems allow the clinician and researcher to examine the pressure parameters within the shoe. The purpose of this study was to investigate the test-retest reliability of plantar pressures using the Parotec system over speeds and plantar regions. Seventeen healthy subjects were recruited for the study. Sampling rate was 100 Hz, and data of six variables (pressure on medial heel, lateral heel, 1st metatarsal head, 5th metatarsal head, and great toe and total impulse) were collected in four different gait speed (1.0 m/sec, 1.5 m/sec, 2.0 m/sec, and comfortable walking speed) in each day. The result indicates fair to excellent reliability between the two day test. Intraclass correlation coefficients (ICCs) ranged from .693 to .979, and range of reliability was similar depending on the speed and plantar region. In most cases, data recorded by the Parotec systems provide good evidence for the reliability.

**Key Words:** Parotec system; Plantar pressure; Test-retest reliability.

### I. 서론

족저압은 운동과학의 임상분야, 연구분야에서 많은 관심을 갖고 있는 측정대상 중 하나이다. 족저압을 측정함으로써 다양한 일상생활 동작과 기능적 활동 중 발의 특정부위에 가해지는 압력을 관찰할 수 있다. 족저압 측정을 위해 사용되는 측정방법으로는 힘판(force plate), 압력판(pressure platform), 신발 내 삽입형 족저압 측정기(in-shoe pressure measurement)가 있다(Kernozek 등, 1996). 1990년대 초까지는 평평한 힘판이나 압력판을 사용하

여 족저압을 측정하는 방법을 많이 사용하였다. 그러나 힘판이나 압력판을 사용한 족저압 측정은 발의 각 부위별 압력을 측정하는데 한계가 있으며 족저압에 대한 다양한 자료를 제시하지 못하였다. 의공학기술의 발달로 감지기가 부착된 신발 안창 형태의 압력감지 안창을 신발 내에 삽입하여 족저압을 측정하는 신발 삽입형 족저압 측정방법이 개발되어 1990년대 중반부터 활용되기 시작하였다. 신발 삽입형 족저압 측정기는 콘덴서, 저항기, piezo-electric crystal 등의 다양한 종류의 감지기를 사용하여 발과 신발 사이에서 발생하는 압력

을 측정한다(Baloh 등, 1994). 이러한 신발 삽입형 족저압 측정기는 발의 각 부위별 압력에 대한 시간적, 양적 자료들을 제공하므로 다양한 목적으로 활용되고 있다. 현재 사용되고 있는 신발 삽입형 족저압 측정기 중 널리 쓰이고 있는 것으로 F-scan system, Pedar system, Parotec system이 있다.

90년대 이후 신발 내 삽입형 족저압 측정방법을 사용한 다양한 연구들이 진행되었다. 임상적 목적의 연구뿐만 아니라, 객관적이고 과학적인, 신뢰성 있는 측정방법을 찾기 위한 연구들도 활발히 전개되었다. Rose 등(1992)은 F-scan system의 측정간 신뢰도(test-retest reliability)에 대한 연구에서 측정간 시간적 차이가 클수록, 감지기의 탈부착 과정이 개입될수록, 측정 시 착용한 신발 형태가 일정하지 않을수록 신뢰도가 감소한다고 하였다. Ahroni 등(1998)은 족부절단의 위험이 있는 당뇨병 환자의 족저압을 F-scan system을 사용하여 측정하였다. 그 결과 부위에 따라 .493~.832의 다양한 신뢰도를 보였으며, 중족골 두 부위에서의 신뢰도가 가장 안정적이었다. Mueller와 Strube(1996)은 F-scan system을 사용하여 영점조정(calibration)방법에 따른 최대 압력(peak pressure)의 측정간 신뢰도를 연구하였다. 제조회사에서 제시한 영점조정방법을 사용하여 측정했을 때 측정간 신뢰도는 .60이었으나, 힘판을 사용한 영점조정방법을 사용할 때 측정간 신뢰도는 .76으로, 영점조정이 측정의 신뢰도에 영향을 주었다. Sumiya 등(1998)은 F-scan system을 사용하여 발과 감지기 사이에 삽입된 양말과 같은 옷감의 두께가 감지기의 민감성에 미치는 영향을 연구하였다. 감지기의 민감성은 맨발로 감지기에 접촉했을 때 최대였으며 옷감의 두께가 증가함에 따라 민감성이 감소하였으나 일정 두께에 이르면 더 이상 감소하지 않고 안정화되었다. Barnett 등(2000)은 세 가지 형태의 신발을 착용하고 Pedar system을 사용하여 족저압을 측정하고, 같은 대상자라 하더라도 측정 시 착용한 신발에 따라 변수들의

측정값간에 차이가 있음을 보고하였다.

Kernozek과 Zimmer(2000)은 Pedar system을 사용하여 보행 속도에 따른 신뢰도를 조사하였다. 2.24 m/sec와 3.13 m/sec의 두 가지 속도에서 .84~.99의 신뢰도를 보였으나, 속도 증가에 따라 최고 압력, 압력-시간 적분값, 최고 힘, 힘-시간 적분값 등의 변수의 크기가 증가하여 측정 시 보행 속도가 측정에 영향을 줄 수 있음을 보고하였다. Bauer 등(2000)은 Parotec system을 사용하여 정상인의 정적기립상태에서의 족저압과 자세동요(postural sway)에 대한 변수들의 측정간 신뢰도를 연구하였다. 족저압과 관련된 변수에서 .95~.97, 자세동요와 관련된 변수에서 .65~.77의 신뢰도를 보고하였다.

이전의 연구에서 살펴보았듯이 측정방법에 따라 족저압 측정의 신뢰도는 다양한 수치를 보여주고 있다. 연구에 따라 신뢰도의 차이가 있기는 하지만 일반적으로 신발 삽입형 족저압 측정기는 신뢰성 있는 족저압 측정방법으로 인정되고 있으며, 객관적이고 신뢰성 있는 적용방법을 찾기 위한 연구는 계속 진행 중이다. F-scan system과 Pedar system을 사용한 족저압 측정의 신뢰도에 대한 연구는 많이 발표되었으나 Parotec system을 사용한 족저압 측정의 신뢰도에 대한 연구, 특히 동적상태의 족저압 측정에 대한 신뢰도 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Parotec system을 사용하여 동적상태에서의 신뢰성 있는 족저압 측정방법을 연구하고자 정상인을 대상으로 보행 속도를 일정하게 통제된 상황과 편안한 보행 시 족저압 측정의 측정간 신뢰도를 조사하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상 및 연구기간

연구대상자는 한서대학교 물리치료학과에 재학중인 건강한 20대 정상 성인 남녀 17명으로 하였다. 이들은 실험과정에 대한 설명을

이해하고 동의하였으며, 최근 1년간 하지 및 족부에 골절, 인대이완, 무지외반증, 하지수술 등의 정형외과적 질환이나, 발바닥에 못, 사마귀, 티눈 등의 피부과적 질환을 경험하지 않았다. 연구기간은 2001년 8월 13일부터 14일까지였다.

## 2. 측정 도구

본 연구에서는 보행 시 족저압을 측정하기 위해 Parotec system<sup>1)</sup>을 사용하였다. 이 기기는 조절박스(controller box), 압력감지 안창(pressure sensitive flexible insole), 메모리카드, 자료출력 및 정리를 위한 소프트웨어로 이루어져 있다. 한 쌍으로 이루어진 압력감지 안창은 발에 맞출 수 있도록 다양한 크기로 나누어져 있다. 이곳에는 양쪽에 각각 24개의 감지기가 존재하여 발바닥의 각 부위에서 측정된 자료들을 조절박스로 보낸다. 조절박스에 내장된 메모리카드에 저장된 자료들은 케이블을 통해 컴퓨터에 입력되어 모니터나 프린터를 통해 출력된다. Parotec system의 감지기는 수직력에 의한 압력뿐만 아니라 전단력으로 인한 압력까지 측정하여 압력의 전체를 측정하므로, 기존의 압력감지기들의 단점이 보완되었다고 볼 수 있다. Parotec system에서 제공되는 자료는 정적상태에서 발의 각 부위별 압력, 압력중심점(center of pressure)의 위치 및 위치변화, 그리고 동적상태에서의 발의 부위별 압력, 압력중심점의 위치변화, 접지 시간(contact time), 부위별 압력-시간 적분값(impulse), 총 압력시간 적분값(impulse total), 최고압력, 입각기내에서의 각 보행주기의 비율(% phase) 등이다. 본 연구에서는 5개의 감지기(외측 발꿈치, 내측 발꿈치, 첫째 중족골두, 다섯째 중족골두, 엄지발가락)에서의 압력과 전체 보행에서의 총 압력-시간 적분값을 변수로 하여 측정간 신뢰도를 조사하였다.

속도를 제한하여 보행을 하기 위해 트레드밀(treadmill)을 사용하였다. 속도는 1.0 m/sec,

1.5 m/sec, 2.0 m/sec 속도로 보행을 실시하였다. 편안한 보행은 긴 복도끝 쪽에 깃발을 설치하고 깃발을 응시하면서 편안한 속도로 걷도록 하였다.

## 3. 실험방법

실험에 동의하고 연구 대상으로 적합한 연구 대상자들에게 실험과정에 대해 설명을 하였다. 대상자들의 연령, 키, 몸무게, 신발굽 높이 등의 일반적 사항을 조사하였다. 대상자들은 연구자가 준비한 운동화 중 본인의 발에 가장 잘 맞는 것을 선택하고 이 운동화를 측정 시마다 동일하게 착용하였다. 선택된 운동화 내부에 대상자의 발크기에 가장 적합한 압력감지 안창을 설치하고, 대상자로 하여금 양말을 신지 않은 맨발 상태로 신발을 착용하게 하여 신발끈을 단단히 묶어 고정하였다. 압력감지 안창설치와 조절박스를 연결하여 측정 준비를 마친 후, 측정 전에 10걸음 정도 걷게 하여, 압력감지 안창의 유동성과 보행의 불편함이 없는지 확인한 후 측정하기 시작하였다. 기기의 자료수집율(sampling rate)은 100 Hz였다. 측정은 총 4가지의 보행을 실시하는 가운데 이루어졌다. 대상자가 트레드밀 위에서 1.0 m/sec, 1.5 m/sec, 2.0 m/sec 속도로 보행할 때 족저압을 측정하였고, 마지막으로 대상자가 평지 위에서 평소의 보행 습관으로 편안하게 걷도록 하여 족저압을 측정하였다. 4가지 보행의 측정순서는 무작위화하여 실시하였고, 재측정 시 동일한 순서로 적용하였다. 측정시작 전 대상자는 의자에 앉아 발을 들고 대기하다가 기기의 신호음에 따라 일어나서 각 보행을 실시하였다. 기기는 보행 시작 후 두 번째 걸음부터 여섯 번째 걸음까지 총 5걸음의 족저압을 측정하였다. 조절박스에 저장된 자료는 케이블을 통해 컴퓨터에 입력되었다. 대상자는 다음날, 다시 방문하여 동일한 측정과정으로 재측정하였다.

1) Paromed Medizintechnik Co., Germany

#### 4. 분석방법

본 연구에서는 기기에서 제공되는 자료 중, 양쪽 발의 5개의 감지기(외측 발꿈치, 내측 발꿈치, 첫째 중족골두, 다섯째 중족골두, 엄지발가락)에서의 압력과 전체 보행에서의 총 압력-시간 적분값을 선정하여 측정간 신뢰도를 조사하였다. 보행 방법, 양측 발로 구분하여, 두 번의 측정을 통해 얻어진 6개 변수의 재측정 신뢰도를 얻기 위해 급간내 상관계수(ICCs: Intraclass correlation coefficients)를 구하였으며, ICC(3,1) 방법을 사용하였다.

상관계수는 표 2와 같다. 부위별 압력간의 급간내 상관계수는 1.0 m/sec의 보행 속도에서 오른발 .721~.922, 왼발 .693~.917 이었고 1.5 m/sec의 보행 속도에서는 오른발 .774~.917, 왼발 .712~.864 이었다. 2.0 m/sec가 보행 속도에서는 오른발 .770~.917, 왼발 .776~.838이었고 편안한 보행에서는 오른발 .706~.938, 왼발 .786~.903 이었다. 총 압력-시간 적분값의 급간내 상관계수는 전체 보행 방법에서 오른발 .938~.968, 왼발 .902~.979의 범위로 조사되었다.

### III. 결과

#### 1. 연구대상자의 일반적 특성

연구 대상자는 남자 14명 여자 3명으로 총 17명이었으며, 평균 연령은 22.5세, 평균 신장은 173.5 cm, 평균 체중은 69.7 kg이었다. 대상자의 우세발은 모두 오른발이었다(표 1).

#### 2. 보행속도에 따른 측정간 신뢰도

보행 속도에 따른 족저압 변수들의 급간내

표 1. 연구대상자의 일반적 특성 (N=17)

구분	평균	범위
성별(명)	남	14
	여	3
우세발(명)	오른쪽	17
	왼쪽	0
연령(세)	22.5	19~25
신장(cm)	173.5	162~181
체중(kg)	69.7	50~78

표 2. 보행방법에 따른 족저압 변수간의 급간내 상관계수

	오른쪽				왼쪽			
	1.0	1.5	2.0	편안한 보행	1.0	1.5	2.0	편안한 보행
Lat H	.816	.774	.770	.938	.693	.823	.801	.868
Med H	.721	.790	.848	.889	.727	.848	.776	.812
5th MH	.856	.903	.821	.820	.917	.864	.810	.786
1st MH	.833	.870	.917	.879	.855	.712	.838	.877
G toe	.922	.917	.846	.706	.882	.764	.835	.903
Total Impulse	.965	.938	.968	.947	.979	.902	.932	.908

Lat H: 외측 뒤꿈치, Med H: 내측 뒤꿈치, 5th MH: 5번째 중족골두, 1st MH: 첫 번째 중족골두, G toe: 엄지발가락, Total impulse: 총 압력-시간 적분값

#### IV. 고찰

인간행동을 연구하는데 있어서 측정도구의 측정값 재현성은 매우 중요한 문제이다 (Bauer 등, 2000). 족저압 측정에 있어서도 많은 연구자들이 다양한 측정장비의 측정방법의 신뢰성을 높이기 위해 연구를 계속하고 있다. Quesada 등(1997)은 대표적인 족저압 측정장비인 F-scan과 Pedar system을 비교하였는데, Pedar system이 F-scan system에 비해 측정값의 재현성과 정확성이 좋은 것으로 보고하였다. 그러나 각 측정장비마다 특징이 다르고, 장단점이 존재하므로, 장비간의 비교보다는 측정 시 보행 속도, 신발종류, 측정간 간격 등의 다양한 변수들이 측정의 신뢰성에 어떤 영향을 미치는지가에 대해서 연구하는 것이 더 중요하다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 족저압 측정장비 중 하나인 Parotec system을 사용하여 속도변수를 다르게 한 보행 상태, 속도가 통제된 상황과 통제되지 않은 상황에서 재측정 신뢰도를 조사함으로써, 재측정 신뢰도의 변화를 알아보았다. 연구 결과, 부위별 압력간의 신뢰도는 양쪽 발 구분 없이 1.0 m/sec의 보행 속도에서 .693~.922 이었고, 1.5 m/sec의 보행 속도에서는 .712~.917 이었다. 2.0 m/sec의 보행 속도에서는 .770~.917이었고, 편안한 보행에서는 .706~.938 이었다. 속도와 관계 없이 보았을 때, Mueller 등(1994)의 연구에서 F-scan system을 사용하여 얻은 최고 압력의 재측정 신뢰도인 .94에 비해서는 낮았다. 그러나 McPoil 등(1995)의 연구에서 F-scan system을 사용하여 얻은 최고 압력의 재측정 신뢰도 .73~.97와는 비슷한 결과를 보여주었다. Mueller의 연구에서는 두 번의 측정이 하루 안에 이루어졌으나, McPoil 등(1995)의 연구에서는 본 연구와 마찬가지로 하루 이상의 간격을 두고 측정이 이루어졌다. 즉 측정간의 간격이 길어져 신뢰도에 영향을 준 것으로 생각된다. 보행 속도를 다르게 통제하여 보았을 때, 본 연구의 결과 1.0 m/sec, 1.5 m/sec, 2.0 m/sec, 편안

한 보행에서의 신뢰도가 비슷한 범위를 보여주었다. Kernozek과 Zimmer(2000)의 연구에서도 최고 힘(maximal force), 최고 압력(maximal pressure)등의 변수를 2.24 m/sec와 3.13 m/sec의 다른 속도에서 측정하여 재측정 신뢰도를 비교한 결과, 절대적 수치는 속도가 증가함에 따라 측정값이 증가함을 보였으나, 속도에 따른 신뢰도의 차이는 없었다. 이는 본 연구의 결과와 일치한다. 또한 본 연구에서는 보행 속도가 일정하게 통제된 경우(1.0 m/sec, 1.5 m/sec, 2.0 m/sec)와 편안한 보행간에 신뢰도에 차이가 있을 것으로 예측을 하였으나, 실제 연구 결과 두 경우의 신뢰도간에는 큰 차이가 없었다. 속도와 양쪽 발 구분 없이, 발의 각 부위별 감지기의 재측정 신뢰도를 살펴보면, 외측 발꿈치 감지기는 .693~.939, 내측 발꿈치 감지기는 .720~.889, 첫째 중족골두 감지기는 .712~.917, 다섯째 중족골두 감지기는 .786~.917, 엄지 발가락은 .706~.922의 신뢰도를 보였다. Kernozek와 Zimmer(2000)는 뒤꿈치(heel), 외측 전족부(lateral forefoot), 내측 전족부(medial forefoot), 중앙 전족부(central forefoot)의 네 가지 부위의 최고 압력의 재측정 신뢰도를 조사한 결과, 뒤꿈치부위의 재측정 신뢰도가 상대적으로 높고, 외측 전족부의 신뢰도가 상대적으로 낮다고 하였으나 본 연구에서는 각 부위별 감지기의 신뢰도가 비슷하게 나타났다.

연구의 마지막 변수인 총 압력-시간 적분값의 재측정신뢰도는 .902~.979로 모두 .9가 넘는 높은 신뢰도를 보였다. 이 수치는 부위별 감지기의 신뢰도와 비교해 볼 때, 매우 높은 수치였다. 이렇게 부위별 감지기의 신뢰도간에는 큰 차이가 없으면서, 부위별 감지기의 신뢰도에 비해 총 시간-압력 적분값의 신뢰도가 높게 나타나는 것은, 측정 시 압력감지 안창이 유동성을 보여 측정 시마다 부위별 감지기에 기록되는 압력수치에 차이가 생겨 재측정 신뢰도를 떨어뜨리지만, 총 압력-시간 적분값은 각 감지기에 감지된 압력-시간 적분값이 합산된 것이므로, 각각의 측정치

에는 차이가 있어도 총합은 어느 정도 일정하게 유지되어, 높은 재측정 신뢰도를 보인 것으로 생각된다.

본 연구에서는 신뢰도계수로서 급간내 상관계수를 사용하였다. 급간내 상관계수는 관찰된 자료군간의 총분산의 비를 나타낸다. 두 자료군 측정값이 같으면 급간내 상관계수는 1이 된다. Fleiss(1986)는 모든 연구자들이 공통적으로 인정할 만한, 급간내 상관계수 등급의 분류기준은 없다고 하였다. 그러나 일반적으로 .4 미만을 낮은 등급(poor reliability), .75 초과를 높은 등급(excellent reliability), .4~.75를 중간등급(fair to good reliability)으로 제시하였다. 본 연구에서는 이 분류기준에 따라 신뢰도를 구분한 결과, 대부분의 신뢰도가 높은 등급의 신뢰도에 속하였다. 따라서 Parotec system은 족저압 측정도구으로써 높은 재측정 신뢰도를 가진 측정방법으로 볼 수 있다.

Koch(1993)는 족저압 측정 시 신발 내의 습도와 온도가 측정값에 영향을 미친다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 이러한 변수들을 고려하지 못하였다. 또한 가능한 한 압력감지 안창이 신발 내에서 움직이지 않도록 고정하려 하였으나, 실제 측정 시 일어나는 유동을 완전히 배제할 수 없었다. 앞으로의 연구에서는 이러한 변수들을 통제하는 것이 바람직할 것이며, 다양한 변수들이 신뢰도에 미치는 영향을 정상인이 아닌 환자군을 대상으로 하여 실시하는 것이 필요하다고 생각된다.

## V. 결론

본 연구의 목적은 족저압 측정도구의 하나인 Parotec system을 사용하여 보행 속도 변수가 족저압 측정의 신뢰도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 정상성인 17명을 대상으로 부위별 압력, 총 시간-압력 적분값의 재측정 신뢰도를 측정하였다. 속도에 따른 압력의 신뢰도는 1.0 m/sec의 보행 속도에서 .69

3~.922, 1.5 m/sec의 보행 속도에서는 .712~.917, 2.0 m/sec의 보행 속도에서는 .770~.917, 편안한 보행에서는 .706~.938로 보행 속도간 신뢰도가 비슷하게 나타났다. 속도와 관계 없이 부위별 감지기의 신뢰도는 외측 발꿈치 감지기는 .693~.939, 내측 발꿈치 감지기는 .720~.889, 첫째 중족골두 감지기는 .712~.917, 다섯째 중족골두 감지기는 .786~.917, 엄지 발가락은 .706~.922로 부위별 신뢰도도 비슷하게 나타났다. 총 시간-적분값의 신뢰도는 .902~.979로 보행 속도, 감지기에 따라 큰 차이가 없었으나, 압력변수의 신뢰도에 비해 높은 수치를 보였다. 이로써 본 연구에서는 보행 속도, 부위별 감지기에 따른 신뢰도에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 신뢰도가 대부분 .75 이상으로 Parotec system은 재측정 신뢰도가 높은 족저압 측정도구임을 알 수 있다.

## 인용문헌

- Ahroni JH, Boyko EJ, Forsberg R. Reliability of F-scan in-shoe measurements of plantar pressure. *Foot Ankle Int.* 1998;10:668-673.
- Baloh RW, Fife TD, Zwerling L, et al. Comparison of static and dynamic posturography in young and older people. *J Am Geriatr Soc.* 1994;42:405-429.
- Barnett S, Cunningham JL, West S. A comparison of vertical force and temporal parameters produced by an in-shoe pressure measuring system and a force platform. *Clin Biomech.* 2000;15:781-785.
- Bauer JA, Cauraugh JH, Tillman MD. An insole pressure measurement system: Repeatability of postural data. *Foot Ankle Int.* 2000;21:221-226.

- Fleiss JL, The design and analysis of clinical experiments. In: Fleiss FL. eds. Reliability of Measurement. John Wiley & Son, 1986:1-32.
- Kernozek TW, LaMott EE, Dancisak MJ, Reliability of an in-shoe pressure measurement system during treadmill walking. Foot Ankle Int. 1996;17:204-209.
- Kernozek TW, Zimmer KA. Reliability and running speed effects of in-shoe loading measurements during slow treadmill running. Foot Ankle Int. 2000;21:749-752.
- Koch M. Measuring plantar pressure in conventional shoes with the TEKSCAN sensory system. Biomed Tech. 1993;38:243-248.
- McPoil TG, Cornwall MW, Yamada W. A comparison of two in-shoe plantar pressure measurement systems. Lower Extremity. 1995;2:95-103.
- Mueller MJ, Sinacore DR, Hoogstrate S, et al. Hip and ankle walking strategies: Effect on peak plantar pressures and implications for neuropathic ulceration. Arch Phys Med Rehabil. 1994;75:1196-1200.
- Mueller MJ, Strube MJ. Generalizability of in-shoe peak pressure measures using the F-scan system. Clin Biomech. 1996;11:159-164.
- Quesada P, Rash G, Jarboe N. Assessment of pedar and F-Scan revisited. Clin Biomech. 1997;12:15.
- Rose NE, Feiwell LA, Cracchiolo A. A method for measuring foot pressures using a high resolution computerized insole sensor: The effect of heel wedges on plantar pressure distribution and center of force. Foot Ankle Int. 1992;13:263-270.
- Sumiya T, Suzuki Y, Kasahara T, et al. Sensing stability and dynamic response of the F-scan in-shoe sensing system: A technical note. J Rehabil Res Dev. 1998;35:192-200.