

# 물체 무게에 따른 팔의 굽힘(flexion)과 펴(extension)운동에 대한 동작의 부드러움 측정

## Evaluation of motion smoothness for flexion and extension of arms due to weights of objects

박상윤, 최미현, 이수정, 양재웅, 최진승, 문경률, 탁계래, 정순철\*

건국대학교 의료생명대학 의학공학부

### ABSTRACT

본 연구에서는 팔의 굽힘(flexion)과 펴(extension)운동 시 물체의 무게에 따른 저크의 변화를 통해 부드러움을 정량화하고, 물체무게와 움직임의 형태(type)에 따른 동작의 부드러움을 비교하고자 한다. 10 명의 오른손잡이 남자 대학생(평균  $24.8 \pm 1.1$  세)을 실험 참여자로 선정하였다. 물체무게(0g, 1000g)와 움직임의 형태(손등 위/아래)를 달리하여 팔의 굽힘과 펴 운동을 실시하였다. 또한 3축 가속도 센서를 이용하여 x와 z 축의 가속도를 측정하였고, 측정된 신호로 부터 저크값을 추출 하였다. 실험은 총 8분으로 4개의 block으로 구성되며 각 block은 resting 구간 1분과 lifting 구간 1분으로 구성된다. 실험 결과 물체무게 0g에 비해 1000g에서 가속도와 정규저크 값이 유의미하게 감소하였다.

## 1. 서론

일반적으로 자연스러운 동작은 부드러운 동작이라고도 할 수 있다. 그리고 동작의 부드러움을 이용하여 주어진 동작의 숙련도를 분석하고자 하는 시도도 많이 있었다. 부드러움을 정량적으로 측정하는 변수로는 주로 저크(jerk)가 많이 사용된다. 저크는 위치좌표를 시간에 대하여 세번 미분한 값이다. 저크-비용함수(jerk-cost function) 혹은 정규저크(normalized jerk)를 이용하여 동작의 부드러움을 정량화할 수 있다. 이 양은 주어진 시간 동안에 발생한 저크의 제곱을 시간에 대하여 적분한 값으로 정의되어 사용된다. 최대 스무드니스 이론(maximum smoothness theory) 혹은 최소저크이론(minimum jerk theory)에 따르면 일반적으로 동작의 궤도 끝점(the end point of motion trajectory)에서 저크-비용함수를 최소화하면서 동작이 이루어진다고 하였다 (Viviani, 1995; Hreljac, 2000).

지금까지 저크를 이용하여 다양한 운동의 부드러움에 관한 연구가 수행되었다. Hreljac(1993)는 장애물을 피할 때 하체 움직임의 부드러움과 숙련도(움직인 시간으로 나타냄)의 상관관계에 관한 연구를 저크-비용함수를 이용하여 정량적으로 설명하였다. 이 연구를 통하여 숙련도가 증가할수록 동작이 부드러워진다는 것을 보여주었다. 그러나 이와 같은 연구는 주로 보행의 관점에서만 수행되었고, 팔의 관점, 즉, 팔의 굽힘과 펴 운동에

관한 연구는 거의 수행되지 않았다. 본 연구에서는 최대 스무드니스이론과 최소저크이론에 기초를 두고 팔의 굽힘과 펴 운동의 부드러움을 정규저크를 이용하여 분석하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 실험 대상

오른손잡이 남자 대학생 10명(나이  $24.8 \pm 1.1$  세)을 대상으로 실험을 수행하였다. 피험자는 뇌 손상의 경험이 없고, 골관절 질환, 심장질환, 호흡기계 질환이 없는 건강한 남성으로 하였다. 피험자에게는 실험 전에 실험 목적, 실험 내용 및 실험 참여시에 발생할지도 모르는 부상의 위험에 대해 충분히 설명하였고 실험참가 확인서에 서명을 받았다.

### 2.2 실험 방법

본 실험은 물체무게 (0g, 1000g)와 동작의 형태(손등 위/아래)를 달리하여 총 4가지의 팔의 굽힘과 펴 운동을 실시하였다. 한 실험은 네 개의 블록으로 구성되며, 각 블록은 rest구간(1분)과 lifting구간(1분)을 포함하도록 하였다. Fig.1은 한 실험의 구성을 도식화한 것으로 한 실험 당 소요 시간은 블록당 2분씩 총 8분이었다. 실험에 사용한 물체는 플라스틱으로 구성된 당구공(1개/250g)을 사용하였다. 물체무게 0g의 경우에는

주먹을 전체 자연스러운 굽힘과 펴 운동을 수행하였고, 물체무게 1000g의 경우에는 당구공 4개를 접촉시킨 후 이것을 자연스럽게 쥔 후 굽힘과 펴 운동을 수행하게 하였다. 피험자의 손목에 3축 가속도 센서를 부착하여 x와 z 축의 가속도를 측정하였고, 측정된 신호로 부터 정규저크 (normalized jerk) 값을 추출하였다.

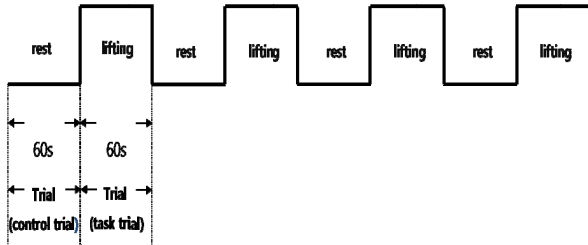


Fig. 1 Test procedure

2.3 분석 방법

측정된 데이터는 2nd order zero-lag Butterworth filter를 사용하여 잡음을 제거하였다. 최적 차단 주파수(optimal cutoff frequency)는 Wells(1980)등이 제안한 나머지 방법(the residual method)을 이용하여 계산하였다. 저크는 가속도를 시간에 대하여 미분하면 얻을 수 있다. 부드러움을 정량적으로 측정하기 위한 저크-비용함수(JC, Jerk-Cost function, 단위: m<sup>2</sup>s<sup>-5</sup>)는 다음과 같이 정의된다.

$$JC = \sqrt{\int_0^T \left(\frac{d^3r}{dt^3}\right) dt}$$

여기에서 T는 전체 동작에 걸리는 시간이며, r은 위치벡터이다. 피검자의 체형에 대한 위치좌표의 변화 및 움직임의 시간 변화에 대한 고려가 필요하기 때문에 저크-비용함수를 정규화 하는 것이 필요하다. 정규저크(normalized jerk, 단위: 무차

원)는 다음의 식으로 정의 된다.

$$\sqrt{\frac{1}{2} \int_0^T \left(\frac{d^3r}{dt^3}\right) dt \frac{T^5}{L^2}}$$

위에서 언급한 바와 같이 T는 전체 동작에 걸리는 시간, L은 Pisiform bone ~ med. Epicondyle 까지의 직선 거리를 나타낸다. 정규저크의 값이 작을수록 부드러움은 증가함을 의미한다. 가속도 data와 정규저크 값을 x, z축과 x축과 z축을 벡터합으로 합한 값, 총 3가지로 추출 하였다. 물체무게(0g, 1000g)와 type(손등 위/아래)을 독립변인으로 하는 반복측정 변량분석을 수행하였다.

3. 결과

3.1 acceleration data

Table1 및 Fig.2 와 같이 0g에 비해 1000g의 물체를 들고 굽힘과 펴 운동을 할때 x축의 가속도 값은 유의미하게 감소하였다. 또한 x, z축의 벡터합의 가속도 값도 0g에 비해 1000g일때 유의미하게 감소하였다.

3.2 정규저크(NJ, normalized jerk)

Table2와 같이 x축의 정규저크 값은 물체무게와 type간에 상호작용 효과가 나타났다. 이는 물체무게 변화에 따라 type간에 정규저크 변화양상이 차이가 있는 것이다. x와 z축의 벡터합의 정규저크 값은 무게에 따라 유의한 차이가 나타났다. 물체무게가 무거울 수록 정규저크 값은 감소하였다. 즉, 이것은 물체무게가 무거울 수록 부드러움이 증가함을 의미한다.

Table1 acceleration data

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<b>x축</b>						
Weight	Sphericity Assumed	.031	1	.031	4.350	.052
Weight*type	Sphericity Assumed	.009	1	.009	1.176	.292
Error(weight)	Sphericity Assumed	.130	18	.007		
<b>x+z축</b>						
Weight	Sphericity Assumed	.036	1	.036	6.173	.023
Weight*type	Sphericity Assumed	.000	1	.000	.022	.884

Error(weight)	Sphericity Assumed	.105	18	.006
---------------	--------------------	------	----	------

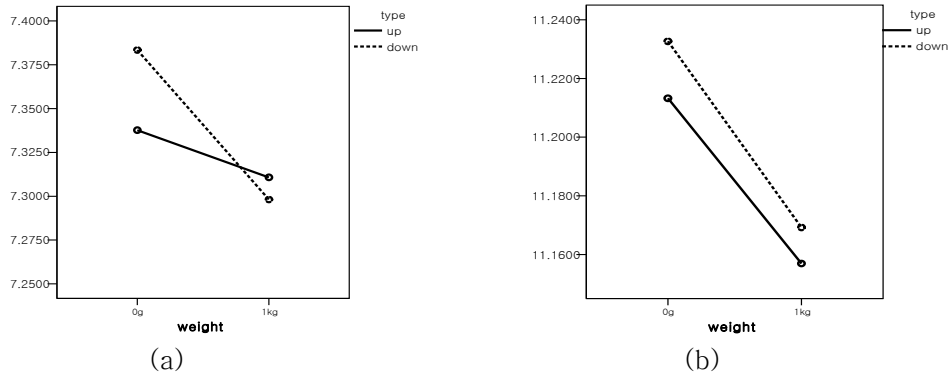


Fig. 2 가속도 값과 물체무게, type간의 상호작용 효과 (a) x축 (b) x+z축

Table2 normalized jerk data

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
X축						
Weight	Sphericity Assumed	17164.466	1	17164.466	2.797	.098
Weight*type	Sphericity Assumed	34674.432	1	34674.432	5.651	.020
Error(weight)	Sphericity Assumed	478630.614	88	6136.290		
X+z축(손등 위)						
Weight	Sphericity Assumed	23038.180	1	23038.180	3.942	.054
Error(weight)	Sphericity Assumed	227937.447	39	5844.550		

4. 토의

본 연구에서는 팔의 굽힘(flexion)과 펴(extension)운동 시 물체의 무게에 따른 저크의 변화를 통해 부드러움을 정량화하고, 물체무게와 움직임의 형태(type)에 따른 동작의 부드러움을 비교, 분석하였다. 가속도 데이터는 3가지 유의미한 결과가 나온 데이터 모두 무거울수록 가속도가 감소하였다. 저크 데이터 역시 유의미한 결과가 나온 데이터 모두 무게가 증가함에 따라 그 값이 감소하면서 부드러움은 증가함을 보여주었다. 무게에 따라서 가속도가 감소한다는 것은 일반적인 사실이다. 정규저크값의 감소 즉 동작의 부드러움 증가는 1000g라는 무게가 남자대학생의 동작에 있어서 크게 무거운 물체가 아니기 때문에 오히려 근육을 자극시켜 속도는 떨어졌지만 팔의 동작을 고정시켜 부드럽게 하는 효과를 가져온 것으로 볼 수 있다. 향후 다양한 무게의 물체의 실험을 통해 팔 운동의 부드러움에 대한 구체적인 연구를 수행하고자 한다.

후기

본 연구는 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2009-0084784)

참고문헌

Giakas, G. & Baltzopoulos, V. (1997). Optimal digital filtering requires a different cut-off frequency strategy for the determination of the higher derivatives. *Journal of Biomechanics*; 30, 851-855.

Hreljac, A. (1993). The relationship between smoothness and performance during the practice of a lower limb obstacle avoidance task, *Biological Cybernetics*; 68, 375-379.

Hreljac, A. & Martin, P. E. (1993). The relationship between smoothness and economy during walking., *Biological Cybernetics*; 69, 213-218.

Hreljac, A. & Marshall, R. N. (2000). Algorithms to determine event timing during normal walking using kinematic data. *Journal of Biomechanics*; 33, 783-786.