

흉수손상인에서 BTE Work Simulator를 이용한 의자차 추진력과 지구력 측정

아주대학교 의과대학 재활의학교실

엄재호 · 나은우 · 이일영 · 임신영 · 심대섭

The Measurement of Force and Endurance during Wheelchair Propulsion in Paraplegics Using BTE Work Simulator

Jae Ho Eom, M.D., Ueon Woo Rah, M.D., Il Yung Lee, M.D., Shin Young Yim, M.D. and Dae Seop Shim, M.D.

Department of Physical Medicine and Rehabilitation, College of Medicine, Ajou University

Objective: To evaluate the force, endurance and influencing factors for wheelchair propulsion in paraplegics using BTE work simulator, and to find out a better method improving fitness levels for the paraplegics.

Method: Seventeen paraplegic men were enrolled for the study. Isometric and isotonic strength and dynamic endurance levels for wheelchair propulsion were measured using BTE work simulator. Neurological and demographical characteristics of patients were collected by personal interviews and direct examinations.

Results: The spinal cord injured level showed a significant correlation with dynamic endurance ($r=0.503$, $p<0.05$) but not with the isometric and isotonic strength. The total duration

of wheelchair use showed a significant correlation with the isotonic strength ($r=0.497$, $p<0.05$), but not with the isometric strength and dynamic endurance. The age and outdoor activities or exercise time during one week showed no significant correlation.

Conclusion: Spinal cord injured level positively correlated with dynamic endurance. Both cardiorespiratory effect and trunk balance may influence this correlation. The total duration of wheelchair use wasn't correlate with dynamic endurance. It seems to be more advisable trunk balance training goes with dynamic endurance training in rehabilitation program. (*J Korean Acad Rehab Med* 2003; 27: 215-219)

Key Words: Paraplegics, BTE work simulator, Balance, Endurance

서 론

척수 손상인에서 신체적 능력이 향상되면 일상 생활에서 신체적 스트레스가 감소하며, 더 나은 기능적 독립과 건강 상태를 이룰 수 있다고 알려져 있다.^{9,22)} Dallmejer와 van der Woude⁹⁾는 척수 손상인의 사회적 참여가 손상 부위보다는 운동능력에 더 많은 영향을 받고, 이들의 독립적인 이동 능력은 통합적 재활의 중요한 목표인 지역사회에의 참여에도 영향을 준다고 보고하였다.²¹⁾ 흉수 손상인은 대부분의 일상 생활동작과 이동을 의자차에 전적으로 의존하고 있다. 그러므로 의자차에 의존하여 생활을 하는 흉수 손상인에서 신체적 능력의 향상은 중요하다고 생각된다. 척수 손상인에서 신체적 능력 향상에 대한 연구는 주로 상지 에르고미터를 이용해 측정되었고,^{11,24,25)} 측정 결과는 구체적으로 평균 힘과 최대 산소 소모량, 일의 부하량 및 느린 수축 섬유

(slow twitch fiber)가 증가하여 신체적 적응도(fitness level)와 지구력이 향상된다고 하였다.

BTE work simulator는 19개의 도구를 사용하여 양측 상지에 대한 기능평가를 시행하는 검사기구인 동시에, 환자가 장애 이전에 직장에서 하던 일을 최대한 비슷하게 수행하는 훈련을 받을 수 있는 기구이다. BTE work simulator는 기존의 정적 근력만을 주로 측정할 수 있었던 검사기구들과 달리 동적 근력뿐 아니라 지구력까지 측정이 가능하기 때문에, 좀 더 동적 힘이나 동적 지구력이 필요한 의자차 추진 같은 작업을 모사(simulate)하기에 적합하다.^{1,8)}

현재까지 에르고미터를 사용한 척수손상인의 근력 및 지구력 향상에 대한 보고는 있었으나, 의자차 작업 모사가 가능한 BTE work simulator를 사용하여 흉수 손상인에서 의자차 추진과 관련된 힘이나 동적 지구력의 측정과 이에 영향을 미치는 요소에 대한 연구는 거의 없었다.

이에 본 연구는 BTE work simulator를 사용하여 흉수 손상인에서 의자차 손잡이에 가해지는 추진력과 동적 지구력을 측정하고 이에 영향을 미치는 요소를 알아보았다. 이렇게 측정된 결과를 이용하여 흉수 손상인에서 신체적 능력을 향상시킬 수 있는 방법을 찾아 입원 및 통원 재활치료에 이용하고자 한다.

접수일: 2002년 11월 13일, 게재승인일: 2003년 2월 19일
교신저자: 엄재호, 경기도 수원시 팔달구 원천동 산5번지
☎ 442-721, 아주대학교병원 재활의학과
Tel: 031-219-5802, Fax: 031-219-5508
E-mail: rehab2000@hanmail.net

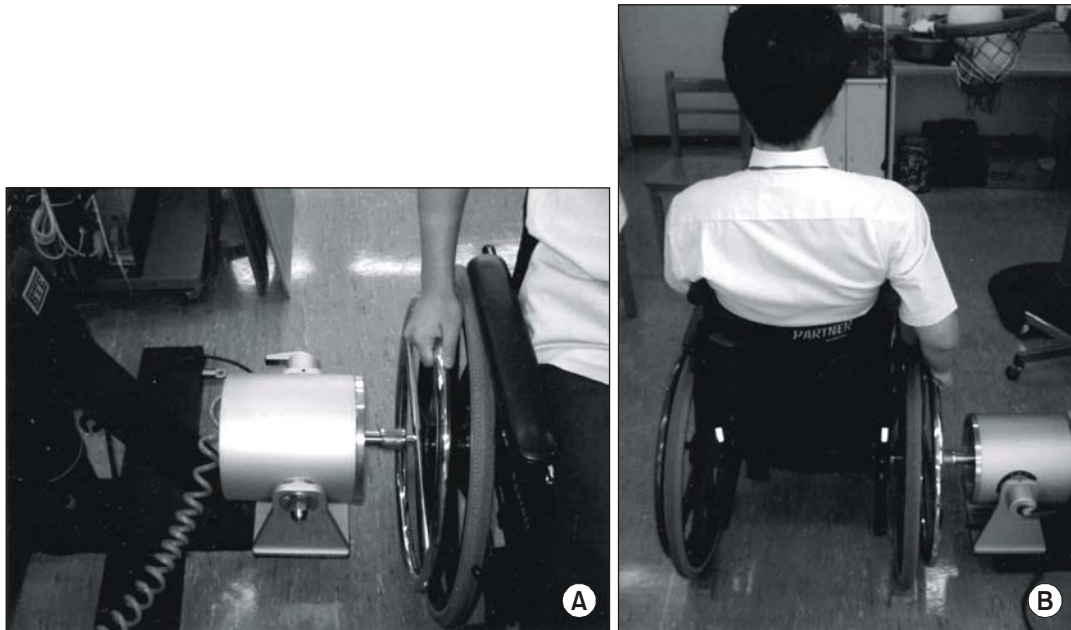


Fig. 1. Measurement of wheelchair propulsion isometric, isotonic strength and dynamic endurance using BTE work simulator. A: Anterior view. B: Posterior view.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

본원 재활의학과 외래에서 추적관찰 중인 남자 흉수 손상인 중 수상 후 6개월 이상이 경과되었고 독립적으로 수동식 의자차 이동이 가능하며 나이가 65세 이하이고 경직이나 관절구축 같은 상지 근골격계 질환이나 욕창 같은 전신 질환이 없는 이를 대상으로 하였다. 대상자는 남자 17명이었으며, 이들의 평균연령은 36.3 ± 7.4 세였다.

2) 연구방법

(1) 의자차 추진력과 지구력 측정: BTE work simulator에 141번 큰 바퀴(large wheel)를 장착하였다. 연구에 사용한 의자차는 의자차의 축이 어깨의 주두(olecranon)와 일직선이 되어 있는 표준형 의자차로 대세 산업에서 제작한 partner 7000 모델을 이용하였다. 표준형 의자차의 한쪽 바퀴 손잡이(hand rim)를 제거하고 BTE work simulator에 큰 바퀴를 제거된 바퀴 손잡이 위치에 오게 함으로, 의자차 바퀴를 돌리는 동작을 모사하였다(Fig. 1). 일상생활동작 수행 시 우세 손에서 측정하였으며 각 힘은 BTE Clinical Applications (1992, BTE company)에 따라 측정되었다.

최대 등척성 힘은 정적인 저항에 대해 적용되는 힘을 측정하였다. 5초 동안의 힘을 3회 반복하여 측정하였고, 각 측정 사이에는 30초간 휴식을 가졌다. 등장성 힘은 최대 등척성 힘의 1/2을 사용해서 10초 동안의 힘을 3회 반복하여

측정하였고, 각 측정 사이에는 30초간 휴식을 가졌다. 최대 등척성 힘과 등장성 힘은 3번 측정치의 평균을 이용하였고 COV (coefficient of variant)가 15% 이상인 경우는 검사를 다시 실시하였다. 동적 지구력은 최대 등척성 힘의 1/2을 사용하여 5초를 한 단위로 가상의 의자차 돌리는 작업을 수행하였다. 첫 단위 일의 양을 100%로 기준하고 연속 세 단위가 처음의 75% 이하일 경우 작업이 중지되고 이때까지의 일의 양을 얻었다.

(2) 통계 및 분석방법: SPSS-PC version 10.0을 이용하였다. 연령, 의자차 사용기간, 일주일간 평균 외출 및 운동시간, 척수손상부위, 척수 손상의 완전·불완전 정도, 하루 동안 보통 의자차 사용시간, 수상 전 및 수상 후 직업, 주거형태, 입구구조, 자가운전 여부에 따른 의자차 추진력의 차이는 비모수 통계인 Pearson correlation 방법을 이용하여 검정하였고, 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

결 과

1) 연구대상의 일반적인 특징

완전 척수 손상은 15명, 불완전 척수 손상은 2명이었으며, 일주일간 옥외 의자차 사용시간은 평균 42.4시간이고, 일주일간 운동시간은 평균 5.3시간이었다. 하루 동안 실외 의자차 사용시간이 4시간 이하인 사람이 5명, 5시간 이상인 사람이 12명이었다. 수상 전 직업이 노동직이었던 사람이 8명, 비노동직이었던 사람이 9명이었고, 수상 후 직업이 있는 사람이 5명이었다. 주거형태로는 아파트에 거주하는 데

상자가 11명이었고, 주택입구 구조는 승강기인 사람이 9명 이었으며, 자가운전은 15명이 하고 있었다(Table 1).

2) 의자차 추진력 및 지구력에 영향을 주는 특성들

의자차 추진력 및 지구력에 영향을 미치는 요소들에 대한 상관관계를 분석하였을 때, 나이, 일주일간 외출 및 운동 시간은 의자차 추진력에 유의한 상관관계가 없었으나, 의자차 사용기간과 등장성 힘 사이에는 유의한 양의 상관관계가 있었으나, 의자차 사용기간과 동적 지구력과는 상관관계가 없었다.

척수 손상부위와 의자차 추진력 및 지구력의 상관관계를 분석한 결과, 척수손상부위는 등장성 및 등척성 힘과 유의한 관계는 없었고, 동적 지구력과 유의한 양의 상관관계가 있었다.

완전 손상 정도, 하루 중 실외 의자차 사용시간, 손상 전 및 손상 후 직업, 주거형태, 주택 입구의 구조, 자가운전 여부에 따라서는 의자차 추진력 및 지구력에 유의한 차이가 없었다(Table 2).

고 찰

척수 손상부위와 심호흡계 능력 사이에는 역상관관계가 보고되었다.^{12,14)} 최대 산소소모량의 경우 손상부위가 높을 수록 적어지는데^{6,13)} 이는 혈관운동 조절(vasomotor control)이 없어진 부위가 넓어지면 정맥순환이 방해받기 때문이다. 또한 흉수 10번 이상 손상의 경우 호기에 관여하는 복근과 늑간근이 영향을 받아 일회 호흡량이 감소된다. 흉수수

Table 1. General Characteristics of Subjects (n=17)

Characteristics	
Total duration of wheelchair use (months) ¹⁾	43.2±24.8
Outdoor wheelchair activity time during a week (hours) ¹⁾	42.4±30.2
Exercise time during a week (hours) ¹⁾	5.3±6.8
Severity of injury ²⁾	
Complete	15
Incomplete	2
Outdoor activity time during a day ²⁾	
Below 4 hours	5
Above 5 hours	12
Pre-injury work ²⁾	
Labor	8
Non-labor	9
Post-injury work ²⁾	
Yes	5
No	2
Housing type ²⁾	
Apartment	11
General house	6
Type of entry ²⁾	
Stair	3
Elevator	9
Ramp	5
Self-driving ²⁾	
Yes	15
No	2

1. Values are mean±S.D., 2. Number of subject

Table 2. Correlations between Characteristics of Subjects and Wheelchair Propulsion Strength

Characteristics of subjects	Type of strength		
	Isometric strength (Nm)	Isotonic strength (Nm)	Endurance (joules)
Age	-0.078	-0.366	-0.119
Total duration of wheelchair use	0.310	0.497*	0.065
Outdoor wheelchair activity time during a week	0.289	0.461	0.092
Exercise time during a week	0.353	0.262	0.220
Spinal cord injured level	-0.151	0.079	0.503*
Severity of injury		-0.256	-0.084
0.078			
Outdoor activity time during a day	-0.040	0.311	0.480
Pre-injury work	0.102	-0.127	-0.085
Post-injury work	0.255	-0.149	-0.034
Housing type	-0.230	-0.144	0.340
Type of entry	-0.060	-0.264	-0.070
Self-driving	-0.348	-0.373	0.045

Values are pearson correlation coefficients.

*p<0.05

상부위가 높을수록 운동 시에 호흡횟수와 일분당 호흡량 (minute ventilation)이 증가하는 것은 수상부위 이하 정맥수축과 비활동영역에서의 정맥반환이 부족한 상태에서 운동에 적응하기 위한 것으로 보인다.⁵⁾ 척수 손상인에서 운동에 따른 심박수에 대한 연구에서, 상지운동을 하는 동안 심박수는 손상부위와 역상관관계를 보이며^{15,16)} 흉수손상인에서는 손상부위가 낮은 사람이 심박수가 낮게 측정된다.³⁾ 손상부위가 높으면 운동 시에 심박수가 많이 올라가는데, 이는 수상부위 이하에서의 정맥순환이 방해받아 심장의 전부하 (preload)가 적은 상황에서 운동에 따른 심박출량 증가를 위해 심박수를 늘리려는 반응으로 여겨진다.

척수손상부위가 높은 흉수손상인에서 최대 산소 소모량이 적음에도 일찍 최대치에 도달하게 되는데 이는 의자차 추진 같은 일을 수행하는 동안 앉은 자세에서 균형을 유지하기 위해 더 많은 근육의 활동이 필요하기 때문이다.⁵⁾ 예를 들면 자세 유지에 사용되지 않는(non-postural muscle) 근육인 광배근(latissimus dorsi muscle)과 상부 승모근(upper trapezius muscle)을 사용하여 손상된 척주직근(erector spinae muscle)의 기능소실을 보상하여 앉은 균형을 유지하고자 하기 때문이다.¹⁹⁾ 즉 수상부위가 높으면 의자차 추진력과 지구력에 관여하는 근육이 동시에 앉은 자세 균형에도 관여해야 하므로 이들의 운동능력은 떨어진다고 생각된다.

결과적으로 흉수 손상인에서 심호흡계의 약점과 더불어 균형유지에 문제가 있기 때문에 수상부위가 높을수록 의자차 운동능력은 떨어진다고 생각하고, 이러한 점은 최대 등척성 힘과 최대 등장성 힘보다는 운동시간이 길어지는 동적 지구력에서 두드러지게 나타날 수 있다. 본 연구에서도 신경손상부위와 동적 지구력 간에 유의한 양의 상관관계를 보였다. 그러므로 심호흡계의 기능을 향상시키는 것과 더불어 균형 유지에 원래 쓰이는 근육들은 발달시키고 원래 쓰이지 않던 근육들을 강화시키면, 균형유지 및 의자차 운동능력을 동시에 잘 수행할 수 있어 이는 다시 심호흡계에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

Pentland와 Twomey²³⁾는 흉수손상인의 상지근력의 예측에는 나이보다는 손상기간과 활동 정도가 중요하다고 하면서, 어깨에 작용하는 근육의 지구력이 독립생활에 좀 더 중요할 수 있다고 하였다. Muraki 등²⁰⁾은 남자 흉수손상인에서 신체적 작업능력(physical work capacity)은 나이와 신체적 활동도보다 손상부위와 수상 후 기간에 영향을 받는다고 하였고, 이는 장기간 의자차 의존적인 생활양식의 결과로 운동을 시행함에 있어 상지 능력의 생리적 향상으로 보았다. 시간이 지남에 따라 힘이 향상된다는 통시적 보고(longitudinal follow-up)들이 있었다.^{10,18)} Janssen 등¹⁸⁾은 신체적 능력은 손상 후 급성기보다 이후에 향상되는데, 처음 수년 동안은 하체의 이동기능을 맡게 된 새로운 상황에 상체가 적응함으로 이루어지고, 그 이후에는 신체적 운동에 의해 주로 확립될 수 있다고 하였다.

본 연구에서도 의자차의 추진력에 영향을 미치는 요소들을 분석해 보았더니, 의자차 사용기간과 등장성 운동능력 사이에 양의 연관성($r=0.497$)이 있었으나 동적 지구력과는 연관성이 없었다($r=0.065$). 이 결과는 흉수손상환자의 독립 생활에 중요한 동적지구력은 시간이 지난다고 얻어지는 것이 아니라 훈련에 의해 영향을 받는다고 생각할 수 있다. 척수 손상인에서 힘의 최대 출력량과 신체적 능력은 비례한다고 하지만,¹⁷⁾ BTE work simulator를 사용하면 힘을 등장성, 동적 지구력으로도 세분할 수 있기에 입원 재활치료 및 외래 치료에 있어 신체적 능력에 관한 보다 더 체계적이고 세분화된 정보를 얻고, 이를 이용하여 재활 치료의 평가와 치료 내용수정에 활용할 수 있을 것이라고 생각한다.

최 등⁴⁾은 척수 손상인에서 규칙적인 정기 검진이 되지 않는 주된 이유가 이동의 장애라 하였고, 신 등³⁾은 척수 손상인에서 주기적 운동군에서 CHART 총점수가 높고, 특히 이동성 항목 기능이 좋다고 보고하였다. 박 등²⁾은 이들의 사회적 활동과 수상 후 기간과는 연관되어 있지 않다고 하였고, Dallmeijer와 van der Woude⁹⁾는 높은 신체적 적응도와 일상생활의 기능과 건강상태는 서로 연관되며, 지구력은 사회적 기능에도 영향을 준다고 하였다. 그러므로 흉수 손상인에서 자기 의자차를 가능한 한 일찍 구입하고 의자차를 이용한 운동치료 시간을 늘리면서 균형 훈련과 동적 지구력 훈련을 실시하여 의자차 운동 능력을 높인다면, 일상의 이동 동작 동안의 스트레스를 줄여 보다 적극적으로 재활치료 참여를 유도할 것으로 생각한다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 의자차 운동능력은 양쪽 상지를 이용한 활동인데 BTE work simulator로는 한쪽 상지만을 가상으로 꾸밀 수밖에 없었던 점과, 둘째로 BTE work simulator를 이용한 의자차 운동능력에 관한 비장애인의 측정치가 없어 흉수 손상인의 측정값과 비교할 수 없었던 점, 셋째로 연구 참여자가 적어 일반화하기 어려울 수 있다는 점이다. 앞으로는 BTE work simulator를 이용한 같은 연령의 정상 성인에서 성별로 의자차 운동능력에 대한 연구가 필요하며, 운동능력에 영향을 미치는 요소들을 더 많은 대상을 통해 확립하고, 완전 마비와 불완전 마비 사이의 비교 연구가 필요하리라 생각한다.

결 론

남자 흉수 손상인 17명에서 BTE work simulator를 사용하여 의자차 추진력과 지구력을 측정하고 이에 영향을 미치는 요소를 알아보아 다음과 같은 결과를 얻었다.

척수 손상부위와 동적 지구력 간에 유의한 양의 상관관계를 보였다. 이는 신경손상으로 인한 심혈관계의 영향과 더불어 몸통의 균형을 잡는 능력도 영향을 줄 것으로 생각한다. 또한 동적 지구력은 수상 후 기간과 양의 관계성을 찾을 수 없었다. 따라서 동적 지구력은 수상 후 기간이 지난

다고 해서 자연히 얻어지는 것이 아니므로, 흉수 손상인의 재활프로그램에 균형 훈련과 함께 동적 지구력 훈련도 병행하여 실시하는 것이 바람직할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- 1) 나은우, 김준환, 이일영, 문혜원, 구자원, 오형석: BTE Work Simulator를 이용한 정상인의 악력, 측면 파악력 및 삼점 파악력 측정. 대한재활의학회지 1997; 21: 950-958
- 2) 박정미, 유동훈, 안방환: 척수 손상자들의 퇴원 후 사회 적응에 관한 연구. 대한재활의학회지 1994; 18: 396-404
- 3) 신지철, 박창일, 김덕용, 김용균, 윤태준, 최용석, 최경식, 곽은희: 척수 손상 장애인에서 스포츠 활동의 영향. 대한재활의학회지 1999; 23: 968-973
- 4) 최영태, 김유철, 조은수, 최선미, 김연희: 척수 손상환자의 사회 적응실태 조사. 대한재활의학회지 1992; 16: 473-481
- 5) Bernard PL, Peruchon E, Micallef JP, Hertog C, Rabischong P: Balance and capabilities of wheelchair sportsmen. J Rehabil Res Dev 1994; 31: 287-296
- 6) Coutts KD, Rhodes EC, McKenzie DC: Maximal exercise responses of tetraplegics and paraplegics. J Appl Physiol 1983; 55: 479-482
- 7) Coutts KD, Rhodes EC, McKenzie DC: Sub-maximal exercise responses of tetraplegics and paraplegics. J Appl Physiol 1985; 59:237-241
- 8) Curtis RM, Engalitcheff J: A work simulator for rehabilitating the upper extremity-preliminary report. J Hand Surg 1981; 6: 499-501
- 9) Dallmeijer AJ, van der Woude LH: Health related functional status in men with spinal cord injury: relationship with lesion level and endurance capacity. Spinal Cord 2001; 39: 577-583
- 10) Drolet M, Noreau L, Vachon J, Moffet H: Muscle strength changes as measured by dynamometry following functional rehabilitation in individuals with spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil 1999; 80: 791-800
- 11) Drory Y, Ohry A, Brooks ME, Dolphin D, Kellermann JJ: Arm crank ergometry in chronic spinal cord injured patients. Arch Phys Med Rehabil 1990; 71: 389-392
- 12) Ellenberg M, MacRitchie M, Franklin B, Johnson S, Wrisley D: Aerobic capacity in early paraplegia: implications for rehabilitation. Paraplegia 1989; 27: 261-268
- 13) Eriksson P, Lofstrom L, Ekblom B: Aerobic power during maximal exercise in untrained and well-trained persons with quadriplegia and paraplegia. Scand J Rehabil Med 1988; 20: 141-147
- 14) Fignon SF: Exercise responses and quadriplegia. Med Sci Sports Exerc 1993; 25: 433-441
- 15) Gass GC, Camp EM: The maximum physiological responses during incremental wheelchair and arm cranking exercise in male paraplegics. Med Sci Sports Exerc 1984; 16: 335-339
- 16) Hjeltnes N: Cardiorespiratory capacity in tetra- and paraplegia shortly after injury. Scand J Rehabil Med 1986; 18: 65-70
- 17) Janssen TW, van Oers CA, van der Woude LH, Hollander AP: Physical strain in daily life of wheelchair users with spinal cord injuries. Med Sci Sports Exerc 1994; 26: 661-670
- 18) Janssen TW, van Oers CA, Rozendaal EP, Willemsen EM, Hollander AP, van der Woude LH: Changes in physical strain and physical capacity in men with spinal cord injuries. Med Sci Sports Exerc 1996; 28: 551-559
- 19) Janssen-Potten YJ, Seelen HA, Drukker J, Reulen JP: Chair configuration and balance control in persons with spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil 2000; 81: 401-408
- 20) Muraki S, Tsunawake S, Tahara Y, Hiramatsu S, Yamasaki M: Multivariate analysis of factors influencing physical work capacity in wheelchair-dependent paraplegics with spinal cord injury. Eur J Appl Physiol 2000; 81: 28-32
- 21) Newsam CJ, Mulroy SJ, Gronley JK, Bontrager EL, Perry J: Temporal-spatial characteristics of wheelchair propulsion. Effects of level of spinal cord injury, terrain, and propulsion rate. Am J Phys Med Rehabil 1996; 75: 292-299
- 22) Noreau L, Shephard RJ: Spinal cord injury, exercise and quality of life. Sports Med 1995; 20: 226-250
- 23) Pentland WE, Twomey LT: Upper limb function in persons with long term paraplegia and implications for independence: Part I. Paraplegia 1994; 32: 211-218
- 24) Taylor AW, McDonnell E, Brassard L: The Effects of an arm ergometer training programme on wheelchair subjects. Paraplegia 1986; 24: 105-114
- 25) Yim SY, Cho KJ, Park CI, Yoon TS, Han DY, Kim SK, Lee HL: Effect of wheelchair ergometer training on spinal cord-injured paraplegics. Yonsei Med J 1993; 34: 278-286