



한국운동역학회지, 2003, 제13권 1호, pp. 109-119  
Korean Journal of Sport Biomechanics  
2003, Vol. 13, No. 1, pp. 109-119

## 휠체어 디자인 특성에 따른 효율의 차이 규명

임비오\* · 문영진\*\* · 은선덕\*  
(서울대학교\* · 체육과학연구원\*\*)

### ABSTRACT

#### Analysis on the differences of mechanical efficiency from design characteristics of wheelchair

Lim, Bee-Oh\* · Moon, Yeong-Jin\*\* · Eun, Seon-Deok\*  
(Seoul National University\* · Korea Sports Science Institute\*\*)

Lim, B-O · Moon, Y-J and Eun, S-D. Analysis on the differences of mechanical efficiency from design characteristics of wheelchair. Korean Journal of Sport Biomechanics Vol. 13, No. 1, pp. 109-119. '2003 Korean Society of Sport Biomechanics proceedings. The purpose of this study was to investigate differences of the mechanical efficiency on the characteristics of the basketball wheelchairs(cambers & size of the handrims). Nine healthy and normal wheelchair basketball players who had no impairments to their upper extremities were volunteered to participate in this study.  $VO_2$  was collected using automatic gas analyzer(vmax29). Gross efficiency, net efficiency and work efficiency were analyzed from the calculated external power output and energy expenditure. The results were followed. First, gross efficiency in the basketball wheelchairs was observed across the range from 4 to 10%. Gross efficiency in this study showed less values than that from the literature reviewed in the arm cranking(15%), racing wheelchair(above 30%), gait(27%) and cycling(18-23%). Second, the small size of handrim(61cm) at the 16 degrees of camber produced higher efficiency values than the large size

---

2003년 3월 25일(화) 접수

\* Corresponding author, 151-742, 서울시 관악구 신림동 산56번지 서울대학교 종합체육관 124호 운동역학실험실  
연락처 : imbo@biomechanics.snu.ac.kr, Tel : 016-656-7805

\*\* 139-242, 서울시 노원구 공릉2동 223-19 체육과학연구원

\* 151-742, 서울시 관악구 신림동 산56번지 서울대학교 종합체육관 124호 운동역학실험실

of handrim(66cm) whereas the different sizes of handrim at the 20 degrees of camber did not show any pattern. Third, both faster speed(1.11<sup>m/s</sup>→1.39<sup>m/s</sup>) and increases in treadmill inclination produced increases in energy expenditure. The results of this study may provide not only better understanding of the mechanical efficiency with adequate camber degree and proper size of handrim but also fundamental information for manufacturing the wheelchair.

**KEYWORDS:** basketball wheelchair, camber, handrim, efficiency

## I. 서 론

에너지 소비와 생산된 파워의 측정은 운동과학 분야에 많이 응용이 된다. 예를 들어, 달리기와 같은 신체활동에 요구되는 에너지 사용에 대한 지식은 운동선수를 위한 트레이닝과 식이요법 프로그램을 계획하는데 있어 코치에게 매우 중요한 부분이다. 따라서 에너지 소비 및 파워와 관련된 효율의 중요성을 이해하는 것은 물리 치료사, 코치, 체육 지도자, 운동 처방사 및 운동 역학자에게 필수적인 것이다 (Powers, S. K., & Howley, E. T., 2001). 일상생활에서 효율적으로 일을 수행한다는 것은 동일한 에너지로 더 큰 일을 효과적으로 수행한다는 의미이다. 스포츠 현장에서도 예외는 아니어서 보다 효율적인 동작 및 효율적인 운동 기구의 개발을 통하여 운동수행력을 향상시키기 위해서 부단히 노력하고 있다.

대부분의 하지 장애인들은 이동을 위하여 휠체어를 타며, 최근에는 건강 및 여가 활동을 위하여 고도의 경쟁적 스포츠 경기를 즐기는 장애인이 증가하는 추세이다. 장애인이 참가하는 스포츠 경기 중에 휠체어 농구는 공격과 수비 전환이 빠른 박진감 있는 경기로서 운동량이 많으며, 사회성을 길러주는 좋은 운동이다. 농구용 휠체어는 일반용 휠체어와 달리 스포츠 경기에 적합하도록 디자인이 설계되어 있다. 즉, 빠른 추진 및 방향전환을 위하여 뒷바퀴가 기울어져 있으며, 뒷바퀴의 크기가 포지션에 따라 다르다. 따라서 농구용 휠체어 디자인 특성에 따른 효율의 차이를 밝히는 것은 유용한 일이다.

핸드림 휠체어 추진 시 효율과 관련된 선행 연구를 살펴보면 일반용 휠체어의 전방 및 후방 추진 방법간의 효율 비교, 휠체어 추진 속도에 따른 효율 분석, 최대산소섭취량의 50%, 60%, 70% 운동 강도 수준에서 팔과 다리의 효율 비교, 정상인과 휠체어 사용자의 효율 비교, arm cranking 운동과 에르고미터 운동에서의 효율 분석, 연습 후의 효율의 변화 비교, 근섬유의 종류에 따른 효율의 비교 등이 있다(정동춘, 1998; Goosey et al., 1998; Vanlandewijck et al., 1994; Kang et al., 1997; Knowlton et al., 1981; Martel et al., 1991; Groot et al., 2002; Horowitz et al., 1994).

위에서 살펴본바와 같이 효율과 관련된 선행연구가 많이 보고 되었으나, 빠른 추진 및 방향전환 동작을 위한 농구용 휠체어의 디자인 특성에 따른 효율에 관한 연구는 아직까지 연구 되지 않았다.

따라서 본 연구의 목적은 농구용 휠체어의 캠버 및 핸드림 크기에 따른 효율의 차이를 밝히는 것이다.

본 연구를 통하여 효율의 관점에서 적절한 캠버 및 핸드림 크기의 효과를 규명하고, 나아가 개개인에 맞는 휠체어를 제작하는 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상자

본 연구의 대상자는 신체에 특별한 질환이 없는 특히, 손, 손목, 팔꿈치, 어깨, 몸통 등에 이상이 없는 건강한 정상인 휠체어 농구선수 9명으로 하였다. 연구 대상자의 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구대상자의 신체적 특성

이름	연령 (세)	체중 (kg)	신장 (cm)	좌고 (cm)	상완장 (cm)	전완장 (cm)	손길이 (cm)	우악력 (kg)	좌악력 (kg)	운동 경력(월)
LSR	21	63	177	94	33	26	18	32.4	32.3	24
HYG	21	65	173	94	35	27	20	30.6	39.7	24
GJG	27	70	179	95	35	26	18	36.4	40.3	36
KYS	23	75	178	97	35	27	19	36.5	42.0	36
YOH	25	73	179	98	36	26	19	36.7	39.5	48
KJS	27	67	170	93	33	23	18	38.3	31.9	48
CSS	26	80	173	97	35	25	18.4	40.9	36.9	48
KHY	23	64	175	96	33	27	19	37.0	35.2	24
OHS	24	67	178	96	36	25	19.4	30.7	28.9	48
평균 ±	24.1±	69.3±	175.8±	95.6±	34.6±	25.8±	18.8±	35.5±	36.3±	37.3±
표준편차	2.3	5.7	3.2	1.7	1.2	1.3	0.7	3.5	4.5	11.1

### 2. 실험 도구

본 연구의 효율을 측정하는데 사용되는 실험도구는 <표 2>와 같다.

표 2. 실험 도구

실험 도구	모델명	용도	국명
자동 가스분석 시스템	Vmax 29	산소소비량 측정	미국
휠체어 트레드밀	Venus 200-100R	운동검사	독일
휠체어	BW-02	운동 검사	일본

본 연구에 사용된 휠체어의 캠버는 16도와 20도이며, 핸드림 크기는 61.0cm(24인치)와 66.0cm(26인치)이다.

### 3. 실험 절차

본 연구의 실험 절차는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 연구대상자 표집 및 선정, 휠체어 캠버 및 핸드림 크기에 따른 휠체어 적응 훈련, 최대하 운동검사 순서로 진행하였다.

#### 1) 최대하 운동검사

최대하 운동검사를 실시하기 전에 다음의 사항을 준비하였다. 최대하 운동검사 전에 가스분석 시스템을 셋업 하였다. 시스템이 완벽히 셋업된 후 <표 3>과 같은 순서로 <표 4>와 같이 최대하 운동검사 프로토콜을 실시하였다. 최대하 운동검사는 효율의 산출과 항정상태(steady state)의 유도 등이 용이하도록 초기 운동 강도를 무부하로 선정하고 운동시간을 7분으로 배정하였다(Kang 등, 1997).

표 3. 최대하 운동검사 시행 순서

시행 순서				
집단 1	A	B	C	D
집단 2	B	C	D	A
집단 3	C	D	A	B

A : 캠버 16도, 핸드림 크기 61cm, B : 캠버 16도, 핸드림 크기 66cm

C : 캠버 20도, 핸드림 크기 61cm, D : 캠버 20도, 핸드림 크기 66cm

표 4. 최대하 운동검사 프로토콜(Kang 등, 1997)

단계	안정	준비운동	휴식	무부하운동	휴식	I 단계	휴식	II 단계
시간 (분)	3	3	2	7	10	7	10	3
속도 (m/sec)	-	0.83	-	0.83	-	1.11	-	1.39
기울기 (% grade)	-	0	-	0	-	2	-	4

### 4. 자료 산출 방법

#### 1) 효율의 계산

총 효율 = (작업량 / 총 에너지 소비량) × 100

순 효율 = [작업량 / (총 에너지 소비량 - 안정시 에너지 소비량)] × 100

작업 효율 = [작업량 / (총 에너지 소비량 - 무부하시 에너지 소비량)] × 100

작업량( $kpm \cdot min^{-1}$ ) = [(피험자의 체중(kg)+휠체어의 무게(kg)) × 수직 이동 거리(m)] ÷ 시간(min)

수직이동거리(m) = 경사도(%grade) × 운동시간(min) × 트레드밀의 속도(m/s)

에너지 소비량( $kcal \cdot min$ ) = [(1.1 × R) + 3.9] × VO<sub>2</sub>

2) 통계 처리

휠체어 농구용 캠버 및 핸드림 크기의 효과를 규명하기 위한 통계 처리 내용은 다음과 같다.

- 1) 핸드림 크기(61.0cm, 66.0cm) 및 캠버(16, 20도)에 따라 효율의 차이를 검증하기 위하여 종속 t-test 를 시행하였다.
- 2) 핸드림 크기 및 캠버 간에 상호작용 효과를 검증하기 위하여 반복이원변량분석(two-way ANOVA for repeated measure)을 시행하였다.
- 3) 각 항목의 가설에 대한 채택 및 기각의 유의수준은 p<.05로 하였다.

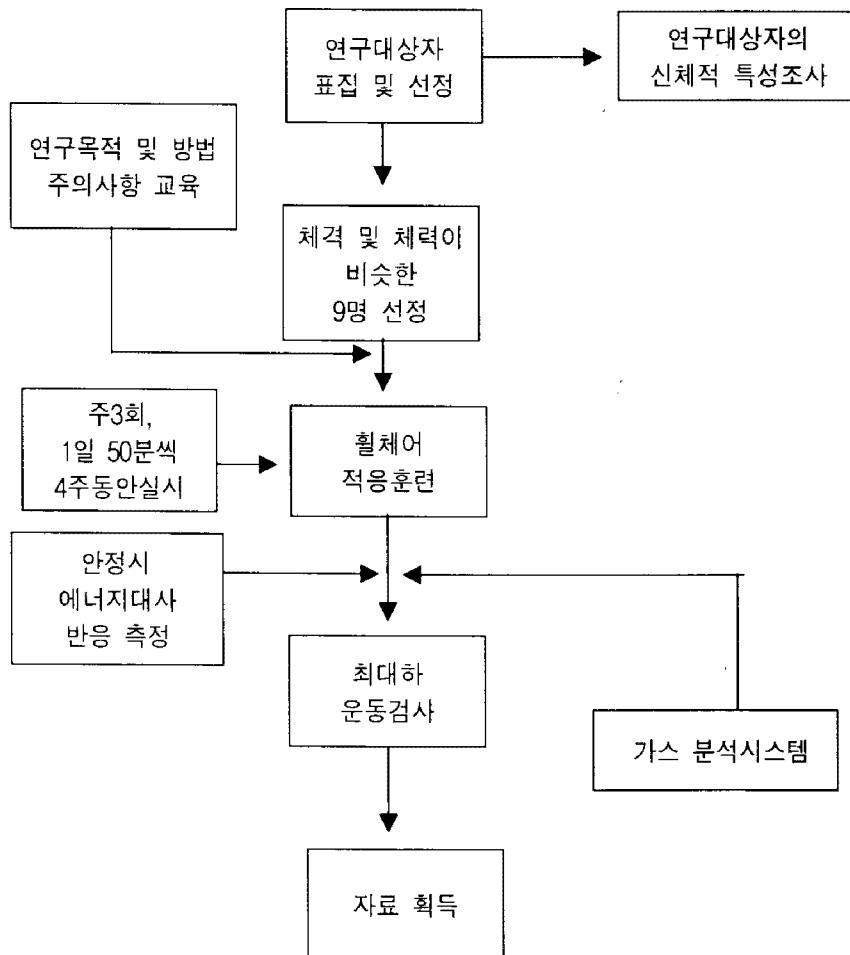


그림 1. 실험절차

### Ⅲ. 결과 및 논의

#### 1. 캠버 및 핸드림 크기에 따른 효율의 분석

휠체어 추진시 효율은 <표 5>와 같다.

표 5. 효율

단위 : %

		A(16도, 61cm)	B(16도, 66cm)	C(20도, 61cm)	D(20도, 66cm)	t-test
총효율	I 단계	6.32±2.83	5.85±1.99	4.59±1.52	5.38±1.86	AC*
	II 단계	10.94±3.03	10.47±3.98	9.17±2.26	8.82±0.81	AC*
순효율	I 단계	9.92±3.52	9.07±2.56	6.29±1.52	8.95±4.38	AC*
	II 단계	14.96±2.85	13.90±4.75	11.82±1.92	11.64±1.32	AC*
작업효율	I 단계	15.88±6.64	13.30±2.24	14.61±4.29	13.78±7.29	
	II 단계	19.30±4.18	16.97±4.62	20.53±3.28	16.19±2.01	CD*

A : 캠버 16도, 핸드림 크기 61cm, B : 캠버 16도, 핸드림 크기 66cm

C : 캠버 20도, 핸드림 크기 61cm, D : 캠버 20도, 핸드림 크기 66cm

I 단계 : 운동시간 7분, 속도 1.11%, 기울기 2% grade

II 단계 : 운동시간 3분, 속도 1.39%, 기울기 4% grade

p<.05

#### 1) 총효율

휠체어 추진시 총효율은 <표 5> 및 <그림 2>와 같다.

캠버 및 핸드림 크기에 따른 총효율의 차이를 알아보기 위하여 반복이원변량분석을 실시하였다. 그 결과 I 단계 및 II 단계에서 캠버( $p>.05$ ) 및 핸드림 크기( $p>.05$ )에 대한 주효과가 나타나지 않았으며, 캠버와 핸드림 크기의 상호작용 효과도 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다( $p>.05$ ). 캠버 및 핸드림 크기에 따른 차이를 보다 구체적으로 알아보기 위하여 각각의 독립변인별로 종속 t-test를 실시하여 단순 주효과를 살펴보았다. 그 결과, I 단계 및 II 단계에서 핸드림 크기 61cm인 경우 캠버 16°가 캠버 20°보다 총효율이 더 높은 것으로 나타났다(6.32±2.83% 대 4.59±1.52%,  $t=2.850$ ,  $p<.05$ ; 10.94±3.03% 대 9.17±2.26%,  $t=3.506$ ,  $p<.05$ ).

I 단계에서 총효율은 약 4~6%이며, II 단계에서는 약 8~10%로 나타났다. 즉, 속도가 더 빨라지고 (1.11%→1.39%), 트레드밀 기울기가 증가하면(2%→4%) 효율도 증가하였다. 캠버 및 핸드림 크기가 제일 작은 A휠체어(16도, 61cm)의 총효율이 제일 높게 나타났다.

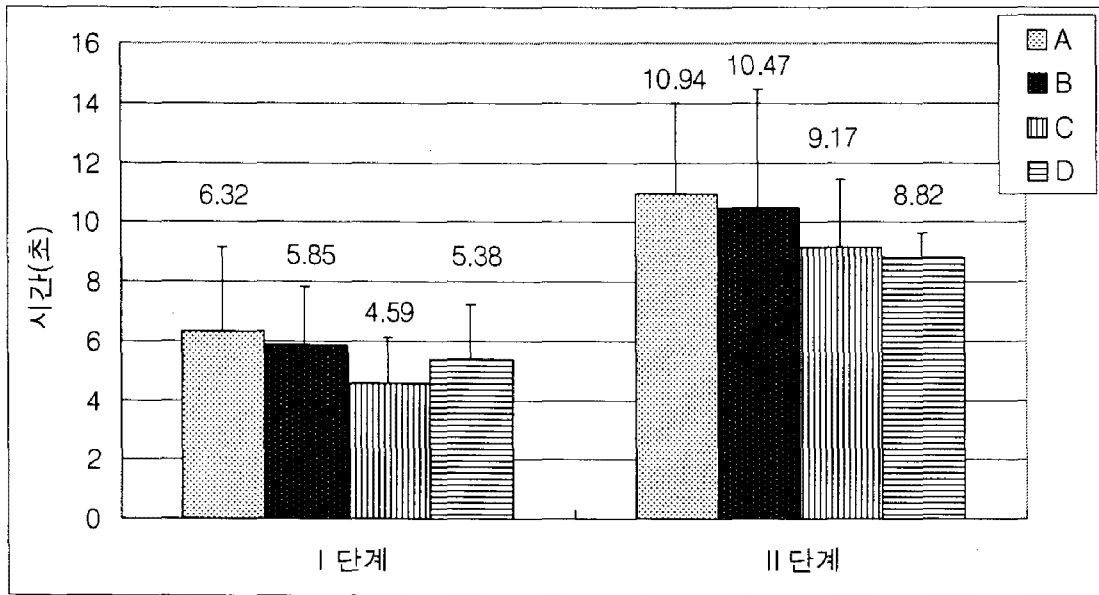


그림 2. 총효율

2) 순효율

휠체어 추진시 순효율은 <표 5> 및 <그림 3>과 같다.

캠버 및 핸드림 크기에 따른 총효율의 차이를 알아보기 위하여 반복이원변량분석을 실시하였다. 그 결과 I 단계 및 II 단계에서 캠버( $p>.05$ ) 및 핸드림 크기( $p>.05$ )에 대한 주효과가 나타나지 않았으며, 캠버와 핸드림 크기의 상호작용 효과도 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다( $p>.05$ ). 캠버 및 핸드림 크기에 따른 차이를 보다 구체적으로 알아보기 위하여 각각의 독립변인별로 종속 t-test를 실시하여 단순 주효과를 살펴보았다. 그 결과, I 단계 및 II 단계에서 핸드림 크기 61cm인 경우 캠버 16°가 캠버 20°보다 순효율이 더 높은 것으로 나타났다( $9.92\pm 3.52\%$  대  $6.29\pm 1.52\%$ ,  $t=3.790$ ,  $p<.05$ ;  $14.96\pm 2.85\%$  대  $11.82\pm 1.92\%$ ,  $t=3.807$ ,  $p<.05$ ).

I 단계에서 총효율은 약 6~10%이며, II 단계에서는 약 11~14%로 나타났다. 즉, 속도가 더 빨라지고( $1.11\text{m/s}\rightarrow 1.39\text{m/s}$ ), 트레드밀 기울기가 증가하면(2%→4%) 효율도 증가하였다. 캠버 및 핸드림 크기가 제일 작은 A휠체어(16도, 61cm)의 총효율이 제일 높게 나타났다.

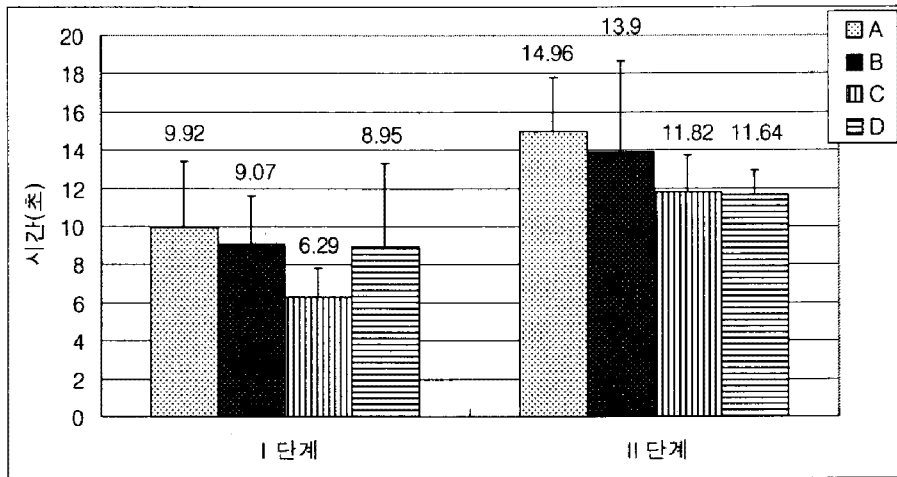


그림 3. 순효율

3) 작업효율

휠체어 추진시 작업효율은 <표 5> 및 <그림 4>와 같다.

캠버 및 핸드림 크기에 따른 총효율의 차이를 알아보기 위하여 반복이원변량분석을 실시하였다. 그 결과 I 단계 및 II 단계에서 캠버( $p>.05$ ) 및 핸드림 크기( $p>.05$ )에 대한 주효과가 나타나지 않았으며, 캠버와 핸드림 크기의 상호작용 효과도 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다( $p>.05$ ). 캠버 및 핸드림 크기에 따른 차이를 보다 구체적으로 알아보기 위하여 각각의 독립변인별로 종속 t-test를 실시하여 단순 주효과를 살펴보았다. 그 결과, II 단계에서 캠버 20도에서 핸드림 크기 61cm가 핸드림 크기 66cm보다 작업효율이 더 높은 것으로 나타났다( $20.53\pm 3.28\%$  대  $16.19\pm 2.01\%$ ,  $t=3.790$ ,  $p<.05$ ).

I 단계에서 작업효율은 약 13~15%이며, II 단계에서는 약 16~20%로 나타났다. 즉, 속도가 더 빨라 지고(1.11%→1.39%), 트레드밀 기울기가 증가하면(2%→4%) 효율도 증가하였다.

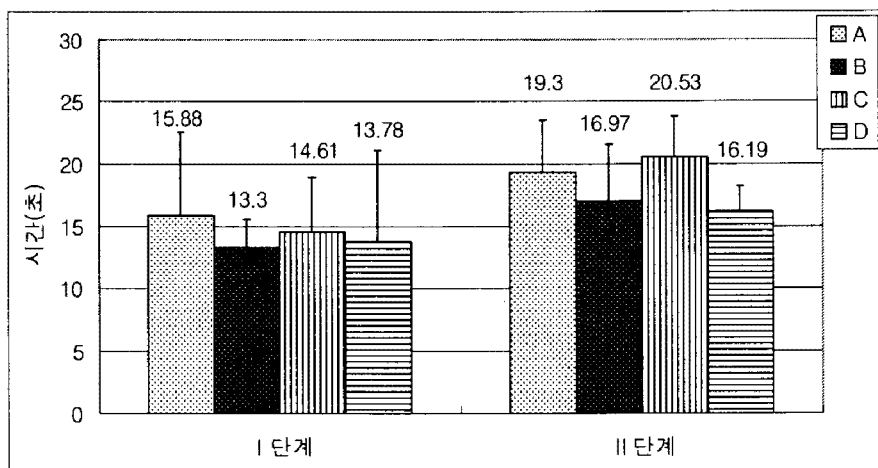


그림 4. 작업효율



#### 4) 총효율, 순효율, 작업효율에 대한 종합적 논의

본 연구에서 제시한 총효율은 약 4-10% 범위에서 나타났는데, 일반적으로 약 15%를 나타내는 암 크랭킹(arm cranking) 운동(Sawka, 1986)보다 더 낮게 나타났다. Woude 등(1988)은 휠체어 추진 운동이 암 크랭킹 운동보다 효율이 낮은 이유는 다리운동에 비하여 근질량(muscle mass)이 작고, 복잡한 운동 패턴, 상지의 복잡한 기능적 구조 때문이라고 하였다. 또한, 경주용 휠체어(30% 이상), 보행(27%) 및 cycling(18-23%)보다 훨씬 낮게 나타났다. 효율이 낮다는 것은 에너지 손실이 크다는 것을 의미하며, 낮은 효율은 심호흡계와 근골격계 시스템에서 상대적으로 높은 스트레인을 받게 되어 상지에 많은 부하를 주며, 나중에는 과다사용으로 인해 어깨와 손목에 상해를 입힐 수 있다(Brattgard et al., 1970; Woude et al., 1988; Hughes et al., 1992; Vanlandewijck et al., 1994; Groot, 2002).

Woude 등(1988)은 표준보다 적은 핸드림을 사용할 때 효율이 높으며, 동일한 파워출력에서 더 낮은 심호흡 스트레인을 받는다고 하였다. 본 연구에서는 캠버 16도일 때 선행연구에서 보고한 바와 같이 핸드림 크기가 작은 휠체어가 큰 휠체어보다 효율이 더 높게 나타났으나, 캠버가 20도일 때에는 그렇지 않게 나타났다.

대부분의 선행연구에서 속도와 효율은 반비례한다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 속도가 더 빨라지고(1.11m/s→1.39m/s), 트레드밀 기울기가 증가하면(2%→4%) 효율도 증가하는 것으로 나타났다. 이에 대하여 Vanlandewijck 등(1994)의 연구에서도 속도가 1.67m/s 이상에서 총효율이 감소한다고 하였다. 이와 같은 결과는 경험과 트레이닝 수준이 높은 피험자들이기 때문인 것으로 보고하였다. 즉, 숙련자들은 추진비율을 높게 해서 연습을 하기 때문에 높은 비율에서 더 효과적으로 운동을 수행하며, 초보자들은 낮은 추진비율에서 연습을 하기 때문에 더 낮은 추진비율에서 효과적 이라고 하였다.

## IV. 결론 및 제언

농구용 휠체어의 캠버 및 핸드림 크기에 따른 효율의 차이를 규명하기 위하여 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 총효율은 약 4-10% 범위에서 나타났는데, 암 크랭킹(15%), 경주용 휠체어(30% 이상), 보행(27%) 및 사이클(18-23%)보다 훨씬 낮게 나타났다.
2. 캠버 16도일 때 핸드림 크기가 작은 휠체어(61cm)가 큰 휠체어(66cm)보다 효율이 더 높게 나타났으나, 캠버가 20도일 때에는 다양하게 나타났다.
3. 속도가 더 빨라지고(1.11m/s→1.39m/s) 트레드밀 기울기가 증가하면(2%→4%), 효율도 증가하는 것으로 나타났다.
4. 핸드림 크기와 캠버가 작은 휠체어가 효율이 가장 높게 나타났다.

본 연구를 통한 제언은 다음과 같다.

1. 다양한 캠버 및 핸드림 크기의 제작을 통하여 포지션별 가장 효율적인 휠체어를 평가하고, 추후 시뮬레이션 기법을 통한 휠체어를 제작할 필요가 있을 것으로 사료된다.
2. 휠체어 추진 동작, 추진력의 메카니즘, 근육의 활동 등 보다 종합적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 임비오, 유연주, 서정석(2002). 포지션별 농구용 휠체어가 추진동작에 미치는 효과. *한국운동역학회지*, 12(2), pp.215-227.
- 정동춘(1998). 휠체어 전·후방 추진 방법이 대사 및 근 피로도와 추진 동작에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문.
- Brattgard, S. O., Grimby, G., & Hook, O.(1970). Energy expenditure and heart rate in driving a wheel-chair ergometer. *Scandinavian Journal of Rehabilitative Medicine*, 2, pp.143-148.
- Goosey, V. L., & Campbell, I. J., & Fowler, N. E.(1998). The Relationship Between Three-Dimensional Wheelchair Propulsion Techniques and Pushing Economy. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, pp.412-427.
- Groot, S. D., Veeger, D., Hollander, A. P., & van der Woude, L. H. V.(2002). Wheelchair propulsion technique and mechanical efficiency after 3 wk of practice. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, pp.756-766.
- Horowitz, J.(1994). High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15, pp.152-157.
- Hughes, C. J., Weimar, W. H., Sheth, P. N., & Brubaker, C. E.(1992). Biomechanics of wheelchair propulsion as a function of seat position and user-to-chair interface. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 73, pp.263-269.
- Kang, J., Robertson, R. J., Goss, F. L., Dasilva, S. G., Suminski, R. R., Utter, A. C., Zoeller, R. F., & Metz, K. F.(1997). Metabolic efficiency during arm and leg exercise at the same relative intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(3), pp.377-382.
- Knowlton, T. G., Fitzgerald, P. I., & Sedlock, D. A.(1981). The mechanical efficiency of wheelchair dependent women during wheelchair ergometry. *Can. J. Appl. Sport Sci.*, 6(4), pp.187-190.

- Martel, G., Noreau, L., & Jobin, J.(1991). Physiological responses to maximal exercise on arm cranking and wheelchair ergometer with paraplegics. *Paraplegia*, 29(7), pp.447-456.
- Powers, S. K., & Howley, E. T.(2001). *Exercise physiology : Theory and application to fitness and performance*. 4th ed. McGraw-Hill.
- Sawka, M. N.(1986). Physiology of upper body exercise. *Exerc. Sport Sci. Reviews*, 14, pp.175-211.
- Vanlandewijck, Y. C., Spaepen, A. J., & Lysens, R. J.(1994). Wheelchair propulsion efficiency: movement pattern adaptations to speed changes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, pp.1373-1381.
- Woude, L. H. V. van der., Veeger, H. E. J., Rozendal, R. H., Ingen Schenau, G. J. van, Rooth, P., & Nierop, P. van(1988). Wheelchair racing: Effects of rim diameter and speed on physiology and technique. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5), pp.492-500.