Korean Journal of Sport Science
2018, Vol. 29. No. 1, 1-13.
https://doi.org/10.24985/kjss.2018.29.1.1

체육과학연구
ⓒ Korea Institute of Sport Science

초청리뷰논문

Design features of wheelchair for the improvement of wheelchair sports performance

Bee-oh Lim*

Chung-Ang University

[Purpose] A potential issue for wheelchair sports are the characteristics of wheelchair design. The purpose of this review was to investigate the characteristics of design in wheelchair sports including the height of seat, camber and handrim size for improving the performance. **[Results]** The optimum height of seat related to trunk, arm length and handrim size. The lower seat showed the push efficient highly, while higher seat increased the energy expenditure. In energy expenditure, the optimum height of seat was 100-120° of elbow angle. Handrim size play the role in gear. The smaller handrim size acts like high gear, it gains disadvantages in acceleration, it gains advantages in maximum velocity. On the contrary, the higher handrim size acts like low gear, it gains disadvantages in maximum speed, it gains advantages in acceleration. The ratio of gear consideration in power and velocity. When increased camber enhanced the lateral stability, easier catch the handrim and easier arm motion. So it improved the energy expenditure and push technique. When increased camber enhanced the mechanical efficiency and stability, but it decreased the power. The racing wheelchair camber using the 8° and 10°. **[Conclusions]** Athletes, coaches and wheelchair experts are provided with insight in the performance effect of key wheelchair design settings, and they are offered a proven sensitive method to apply in sports practice, in their search for the best wheelchair-athlete combination.

Key words: Wheelchair, Sports, Design, Camber, Handrim

서 론

4차 산업혁명 시대를 앞두고 급속한 경제 발전과 과학 기술의 발달은 인간의 삶을 편리하게 하는 반면, 자연재해, 산업재해, 교통사고, 환경오염 등의 여러 가지 문제들을 동시에 발생시키고 있다. 특히 20세기 후반의 괄목할 만한 의학의 발전에도 불구하고 교통사고, 건설현장에서의 안전사고, 스포츠 참여의 증대에 따른 스포츠 부상 등에 의해 장애인 발생률이 오히려 증가하는 추세이다. 장애인수는 2000년 145만 명에서 2015년 249만 명으로 15년 사이 58.2%나 증가하였다 (Statistics Korea, 2016).

지체장애인들의 가정생활 및 사회생활의 원활한 영위를 위해서는 장애인 소득 보장, 재활 치료, 장애인을 위한 특수 교육과 함께 건강을 위한 신체 활동이 포함되어야 한다. 지체장애인들의 재활이나 심리 치료를 위해 실시되던 신체 활동이 최근에는 고도의 경쟁적 스포츠 경기로까지 발전하게 되었다. 일부 장애인들이 보여주는 일반인 못지않은 강인한 투지와 운동수행력은 장애인들도 적절한 신체 활동 프로그램만 제공된다면 질병에 걸리지 않고 신체적으로 건강한 상태를 유지하면서, 사회

논문 투고일 : 2018. 03. 01.
논문 수정일 : 2018. 03. 16.
게재 확정일 : 2018. 03. 22.
* 교신저자 : 임비오(bolim@cau.ac.kr).
* 본 총설논문은 임비오(2003)의 미간행 박사학위논문 '농구용 휠체어의 캠버 및 핸드림 크기가 추진 동작에 미치는 효과'를 수정 및 보완한 것임.

에서 중요한 역할을 수행할 수 있음을 보여주고 있다(Lim, 2003).

장애인들이 참가하는 스포츠 경기는 육상, 테니스, 배드민턴, 수영, 역도, 사격, 양궁, 펜싱 등과 같은 개인운동종목과 농구, 축구, 배구, 럭비와 같은 단체운동 종목으로 나눌 수 있다. 이러한 종목들 중에 휠체어농구, 휠체어럭비, 휠체어테니스, 휠체어레이싱(100미터부터 마라톤까지)과 같은 휠체어스포츠는 매우 인기 있는 패럴림픽 종목이다. 휠체어 스포츠의 경기력 향상을 위하여 지역 교류전으로부터 국가 대항전에 이르기까지 감독, 코치, 선수, 스포츠 과학자, 트레이너, 체육교사 등이 부단히 노력하고 있다. 휠체어 스포츠의 경기력을 향상시키기 위해서는 선수 개개인의 체력, 기술, 전술과 함께 빠른 추진 및 방향전환을 위한 휠체어 성능을 향상시켜야 한다. 휠체어 선수들은 때로 기술이나 전술보다 휠체어 성능이 더 경기력에 영향을 미친다고 말한다(Lim, 2003; Churton & Keogh, 2013).

본 연구의 목적은 휠체어 성능에 영향을 미치는 휠체어 구조(좌석의 높이, 캠버 및 핸드림 크기), 휠체어 추진 동작(기능적 특성 및 인간 운동역학적 측면) 및 휠체어 추진 효율(운동생리학 및 운동역학적 측면)과 관련된 주제를 대상으로 과거 연구부터 최신 연구까지의 연구동향 및 변천을 제시하는 것이다.

휠체어 구조에 관한 연구

좌석의 높이에 관한 연구

가장 효과적인 좌석의 높이는 선수의 몸통과 팔의 길이 및 핸드림 크기와의 함수관계이다〈Fig. 1〉. Higgs (1983)는 1980년 휠체어 레이싱 장애인 올림픽에 참가한 선수들 가운데에서 가장 뛰어난 성적을 올린 상위 입상자들은 좌석이 낮은 휠체어를 탔으며, 상대적으로 좌석이 낮은 휠체어를 탔을 때 더 높은 추진 효율을 보였다고 하였다.

Meijs et al.(1989)와 Woude 등(1990)은 팔꿈치 각도와 추진 효율 간에 밀접한 관련이 있다고 하면서 팔꿈치 각도가 80도일 때 효율이 가장 높았다고 보고하였다. 반면에, Woude 등(1988)은 휠체어를 타지 않는 9명을 트레드밀 위에서 농구용 휠체어를 대상으로 팔꿈치 각도에 비례하는 좌석의 높이 4가지(팔꿈치 각도의 100, 120, 140, 160도)와 속도 4가지(0.56, 0.83, 1.11, 1.39m/s)로 하여 실험하였다. 연구결과, 에너지 소비(총 효율)에서 휠체어 좌석의 적정 높이는 팔꿈치 각도의 100~120도이며, 속도가 증가할수록 효율도 증가한다고 하였다. 휠체어 좌석의 높이가 증가하면 추진 범위(push range)와 추진 시간(push duration)은 감소한다. 반면에 추진구간에서 몸통의 궤적이 전방으로 이동하면, 어깨의 벌림(abduction)과 뒤쪽 굴곡이 감소하며, 팔꿈치의 신전과 굴곡이 감소한다. 휠체어 좌석의 높이가 증가할수록 팔과 몸통의 회전궤적(angular trajectories)이 변하는데, 이는 핸드림에 도달하는 팔의 거리를 보상하기 때문이다. 분절의 궤적이 변화하는 것은 어깨/팔 분절의 활동근(active muscles)의 힘-길이 특성이 달라지기 때문이라고 하였다. 또한 몸통 굴곡의 증가는 기립근(erector muscles)의 활동이 연장되기 때문이며, 휠에 대하여 중력중심을 이동시키며 어느 정도 구름 항력(rolling drag)을 향상시키기 위한 것이다. 휠체어 좌석의 높이가 증가하면 에너지 소비도 증가하는데, 그 이유는 평균 파워가 증가하여 손의 회전력(torque) 특성을 변화시키기 때문이다(Lim, 2003). Sabari et al.(2016)은 휠체어 좌석에 앉은 채로 일을 할 때 운동범위가 과도하게 증가하여 목뼈와 어깨 관절에 반복되는 스트레스 부상을 입을 위험률이 높아진다고 하면서 2가지 좌석의

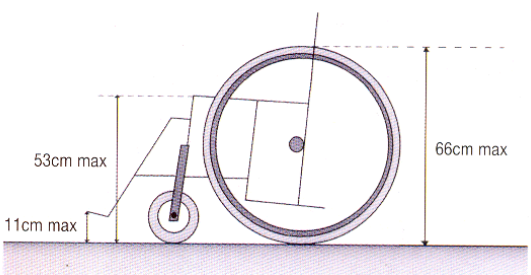

Fig. 1. The standard of competition basketball wheelchair (Lim, 2003)

높이가 목뼈와 어깨 관절에 미치는 운동범위를 규명하였다. 연구결과, 휠체어 좌석의 높이가 높을 때(65cm)가 낮을 때(44cm)보다 목뼈와 어깨 관절에 미치는 운동범위가 감소하여 이 부위의 스트레스 부상을 감소시킬 수 있을 거라고 보고하였다.

핸드림 크기에 관한 연구

Higgs(1983)는 핸드림은 휠체어 추진에서 기어와 같은 역할을 한다고 하였다. 만약에 작은 직경의 핸드림을 사용하면 고단 기어를 선택한 것이며 가속도에서 손해를 보며 최고속도에서 이득을 본다고 하였다. 반대로 큰 직경의 핸드림을 사용하면 저속 기어를 선택한 것이며 가속도에서 이득을 보며 최고속도에서 손해를 본다고 하였다. 일반적으로 근력이 강한 선수들은 작은 직경의 핸드림을 사용한다. 결국, 최적의 핸드림 직경은 선수의 근력의 크기에 달려있으며, 가속도와 최고속도의 적정값이 중요한 요인이라고 하였다.

Hilbers & White(1987)는 스포츠용 휠체어(9.8kg)가 전통적인 휠체어(18.9kg)보다 에너지 소비량이 17% 더 낮았다고 보고하였다. Woude et al.(1988)은 8명의 경주용 휠체어 선수들을 대상으로 트레드밀 위에서 동일한 외부 부하(0.5도, V=0.83~4.17m/s)에서 에너지소비와 추진기법에 대하여 다섯 가지 핸드림 크기(0.30~0.56m)의 효과에 대하여 연구하였다. 핸드림 크기가 큰 휠체어(0.56m)가 작은 휠체어(0.30~0.35m)보다 산소 소비량은 10% 더 높고, 생리학적 부하는 가장 높고, 효율은 가장 낮게 나타났다. 반면에 핸드림 크기가 가장 작은 휠체어에서 기계적 효율은 가장 높게 나타났으나 8.5%를 초과하지는 않았다. 또한 추진 기법에서는 현저한 차이가 없었다고 보고하였다. 핸드림 크기가 작은 휠체어의 에너지 소비가 낮은 이유는 어깨 움직임의 감소로 근 수축에 영향을 미쳤기 때문이다. 경주용 휠체어의 작은 크기의 핸드림은 낮은 속도에서 뿐만 아니라 높은 속도에서도 상대적으로 손의 선속도가 낮기 때문에 추진속도와 힘의 전달에서 더 효과적인 것으로 나타났다.

Veeger et al.(1992)은 최대하 파워 출력이 동일하고 기계적 이득($MA = r_{rim} \times r_{wheel}{}^{-1}$로 림과 휠의 반지름 비율로 정의)이 높으면(0.43→ 0.87), 즉, 휠체어를 추진하는 손의 속도가 빠르고 평균 저항력이 낮으면, 심호흡 반응이 높게 나타난다. 동시에 추진구간동안 손의 선속도 증가는 효과력(effective force)를 71%에서 58%로 감소시킨다. 또한, 추진의 처음과 끝부분의 부적(-) 일의 양은 기계적 이득을 더 높게 증가시킨다. 결론적으로 핸드림 휠체어에서 여러 가지 기어의 응용은 가치가 있으나, 기어의 비율은 파워와 속도를 고려해야 한다.

Mason et al.(2012)은 13명의 휠체어 농구 선수들을 대상으로 3가지 휠 사이즈(59, 61, 65cm)의 성능을 규명하였다. 연구결과, 20m 전력달리기와 최대속도에서 65cm의 휠사이즈가 59cm의 휠사이즈보다 더 빠르게 나타났다고 보고하였다.

캠버에 관한 연구

휠체어의 메인 휠에 캠버를 두는 이유는 몇 가지가 있는데, 가장 중요한 이유는 핸드림에 손을 자연스럽게 잡도록 하여 힘을 효과적으로 전달할 수 있게 하는 것이다〈Fig. 2〉. 경주용 휠체어의 캠버는 6도에서 12도 사이이며, 8도와 10도를 가장 많이 사용한다(Higgs, 1983).

캠버 각이 증가하면 측면 안정성(lateral stability)이 향상되며, 손이 핸드림을 잡는 것이 쉬워지며, 팔 운동이 수월해져서 에너지 소비와 추진 기법에서 긍정적인 효과가 기대된다(Clarke, 1986; Higgs, 1983; Hilbers & White, 1987). 또한 캠버가 증가하면 기계적 효율이 커지며, 안정성이 증가하며, 휠체어 추진 시 요구되는 파워가 감소된다(Higgs, 1983; Trudel, Kirby & Bell, 1995; Brubaker, McLaurin & McClay, 1986). 반면에 Buckley & Bhambhani(1998)는 2km/h의 속도로 휠체어 추진 시 0, 4, 8도의 캠버에서 젊은 사람(19~44세)과 나이 든 사람(45~74세)들의 생리학적 및 지각적 반응을 연구하였는데, 캠버 각이 증가함에 따라 산소섭취량, 환기율, 심박수, 생리학적 스트레스가 유의하게 증가하였다고 보고하였다.

Veeger et al.(1989)은 8명의 손상되지 않은 피험

자를 대상으로 트레드밀 위에서 2, 3, 4, 5km/h의 속도로 휠체어 추진 시 0, 3, 6, 9도의 캠버 각도에서 산소소비량, 심박수, 기계적 효율에는 차이가 없었으며, 3도와 6도의 캠버에서 추진 시간, 추진 각도, 벌림 동작에서 통계적으로 차이가 나타났다고 보고하였다. 또한 캠버 각이 증가하면 핸드림에 손의 접근이 쉬워지고, 핸드림을 잡는 팔의 어깨, 팔꿈치, 손의 정렬이 향상되어서 비효율적인 움직임이 감소된다. Trudel et al.(1997)은 576명의 피험자를 대상으로 -15도, -10도, -5도, 0도, 5도, 10도, 15도의 캠버에 따른 안정성에 관한 연구에서, 휠체어 캠버의 옆 방향보다 뒷 방향에서 더 불안정하다고 보고하였다. Veeger et al.(1988)은 뒷바퀴 캠버는 구름 항력(rolling drag)에는 거의 영향을 미치지 않았다고 보고하였다.

Tsai et al.(2012)은 휠체어를 타본 경험이 없는 12명을 대상으로 3가지 캠버(0, 9, 15도) 조작이 가능한 자체 제작한 휠체어를 타고 운동학적 변인(시공간적 변인, 관절 각도, 추진패턴)을 규명하였다. 연구결과, 15도의 캠버에서 평균가속도와 최대관절 각도가 증가하였다고 보고하면서, 캠버가 조정된 휠체어를 선택할 때 인체 관절의 움직임과 휠체어 바퀴의 기저면을 고려해야 한다고 하였다.

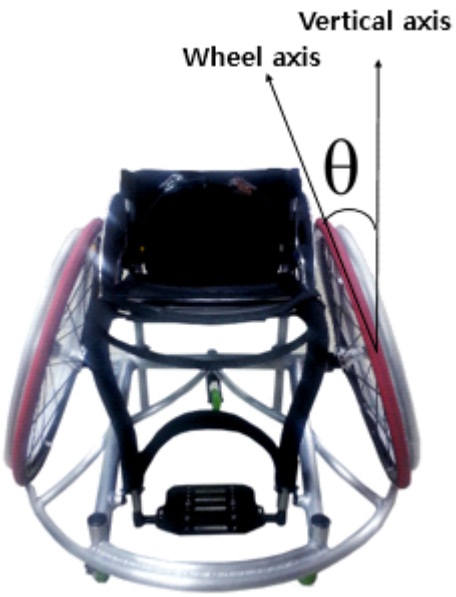

Fig. 2. Definition of camber

휠체어 추진에 관한 연구

휠체어 기능적 특성

Goosey & Campbell(1998)은 경주용 휠체어 선수들을 대상으로 4.70m/s(18명)과 6.58m/s(12명)의 2가지 속도에서 추진율(push rate, push/min)과 운동학적 변인간의 관계를 연구하였는데 사이클 시간과 추진시간은 4.70m/s의 속도에서 두 집단 모두 동일하게 나타났으며, 6.58m/s의 속도에서 12명의 선수들 사이에서도 비슷하게 나타났다고 하였다. 4.70m/s의 속도에서 두 집단 사이에 두드러진 운동학적 차이는 초기 휠 접촉 시 손의 위치이며, 경제적인 집단은 비경제적인 집단보다 TDC(Top Dead Center)에 가깝게 핸드림에 접촉(시작각도, 34도 대 40도)하지만 개인간 차이로 인하여 낮은 효과크기(Cohen's *d,* 0.11)를 보이는 것으로 나타났다〈Fig. 3〉. 시작 각도가 작다는 말은 큰 범위로 일을 수행하는 것인데 추진 각도와 끝 각도에서는 차이가 없는 것으로 나타났다〈Fig. 3〉. 경제적인 집단은 힘을 전달하는 동안 휠의 가장 효과적인 부분을 사용하여 미는 것으로 나타났다. 비경제적인 집단은 동일한 파워를 내기위하여 추진율(push rate)을 증가시키며, 결과적으로 에너지를 많이 소비하게 된다. 더 낮은 추진율은 더 좋은 추진 경제와 연관되어있다는 선행연구(Goosey et al., 1997; Jones et al., 1992)와 동일하게 나타났다. 또한 4.70m/s에서 나타난 결과와는 다르게, 빠른 속도에서는 더 큰 추진 호(push arc)를 보이는데 이것은 더 좋은 경제와 적당한 상관관계(r=-.57)를 보인다고 하였다. 사이클 시간, 추진 구간, 추진 각도와 같은 시간과 손 변위 변인(hand displacement parameters)은 선행연구 값(Wang et al., 1995)과 비슷하게 나타났다. 6.58m/s의 속도에서 나타난 22%의 평균 추진 구간은 선행연구(Higgs, 1985; Ridgway, Pope & Wilkerson, 1988; Sanderson & Sommer, 1986)보다 12% 더 짧게 나타났다. Veeger et al.(1992)은 휠체어 속도가 증가하면 추진빈도(cycle frequency)가 유의하게 증가한다고 하였다. 속도가 증가함에 따라 추진시간을 감소하기 위하여

회복구간을 짧게 하거나 추진 호를 늘리지 않는다고 하였다. 또한 속도가 증가함에 따라 추진 각도는 증가하지 않는 반면에 회복시간은 불규칙적인 패턴을 보인다고 하였다.

Vanlandewijck, Spaepen & Lysens(1994)는 40명의 휠체어 농구 선수들을 대상으로 농구용 휠체어(모델 : Quicki GGPV, 무게 : 11.6kg, 캠버 : 0도, 핸드림 직경 : 53cm, 좌석의 높이 : 팔꿈치 각도의 90도)를 타고 트레드밀 위에서 일정한 파워로 2가지 운동수준(분당 최대산소섭취량의 60%와 80%)과 3가지 속도(1.11, 1.67, 2.22m/s)에서 실험하였다. 추진구간 동안 낮은 속도(1.11m/s)에서는 팔꿈치 관절이 굴곡되고 신전되는 시간비율이 동일하다. 그러나 2.22m/s에서는 팔꿈치 관절의 굴곡-신전의 전환이 추진시간의 1/3 이후에 일어난다. 1.11m/s에서 2.22m/s으로 속도가 증가하면서 추진 시간의 감소로 인해 사이클 시간은 점진적으로 감소하며, 회복 시간은 거의 일정하게 유지된다. 사이클 시간의 감소는 사이클 빈도의 증가를 나타낸다. 또한 추진율의 증가는 에너지 소비를 증가시킨다. 더 낮은 추진율은 근육의 노력을 덜 사용해서 요구되는 파워를 생산하기 위하여 핸드림에 힘을 더 효과적으로 가해주는 것이다. 이와 같은 사실은 선수들의 운동수행력을 향상시키는 중요한 요인이며, 트레이닝 시 최적의 추진 빈도를 결정하는 중요한 사항이다(Lim, 2003).

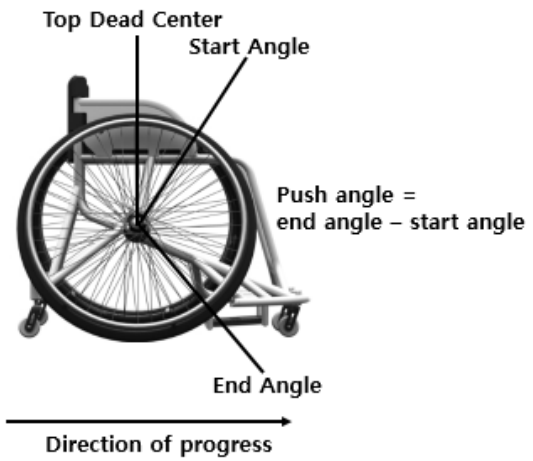

Fig. 3. Definition of start angle, end angle, push angle

인간 운동역학 측면

Goosey et al.(1998)은 증가된 몸통 경사와 과도한 몸통 움직임은 에너지 소비와 반대되며, 4.70m/s의 두 집단에서 몸통 위치와 통계적인 차이는 없지만(p=.08, variation이 크기 때문), 몸통운동의 차이는 중간정도의 효과크기(.75)로 나타났다. 결국, 몸통 굴곡의 감소는 더 좋은 경제와 관련이 있으며, 몸통 움직임의 증가는 기계적 효율을 감소시킨다는 선행연구의 결과와 일치되게 나타났다(Vandlandewijck et al., 1994).

Goosey et al.(1997)은 휠체어 추진의 메케닉은 속도와 종속적인 관계로서 속도가 증가하면 빠른 속도를 유지하기 위해서 몸통 기울기를 더 크게 한다고 하였다〈Fig. 5〉. 6.58m/s의 빠른 속도에서 상대적으로 몸통 경사의 많은 범위에도 불구하고 경제적으로 추진하는 것은 몸통 움직임의 증가로 생성된 몸통 운동량을 통하여 핸드림에 파워를 전달하는 것으로 나타났다(Sanderson & Sommer, 1985). 추진경제와 같은 생리학적 요인으로 핸드림에 힘을 가하는 크기와 시간에 대하여 증가된 몸통 움직임으로 균형(balance)을 이루는 것으로 나타났다〈Fig. 5〉.

Vanlandewijck et al.(1994)은 추진구간에서 몸통 기울기는 핸드림 속도가 증가함에 따라 변화가 없지만, 1.11m/s에서는 추진구간의 2/3지점에서 몸통을 앞으로 움직이지만 2.22m/s에서는 추진 구간의 90%에서 몸통 굴곡이 관찰된다고 하였다. 이것은 스트로크 전 구간에서 상체 질량을 사용하는 것이라고 하였다. 이렇게 함으로써 몸통 기울기의 증가 없이 휠의 중앙에 전체 체중을 이동(구름 저항 증가)하는 것을 피하게 된다.

4.70m/s에서 팔꿈치를 더 많이 구부리는 것은 더 효율적이며, 최소 팔꿈치 각도는 높은 효과크기(.86)를 보였으나 통계적 차이는 나타나지 않았다(p=.07)〈Fig. 4〉. 추진 사이클 동안 크게 팔꿈치를 구부리는 것은 더 효율적이며, 팔꿈치 운동의 큰 범위(r<-.63)와 팔꿈치 굴곡(r<.63)은 비슷한 속도범위(6~7m/s)에서 효율이 더 낮게 나타났다(Goosey & Campbell, 1998). 그러나 6.58m/s에서 팔꿈치 각도의 범위와 팔꿈치 굴곡은 낮은 상관관계를 나타냈다(r>.15). 그와 같은 결과는 운동면을 시상면(sagittal plane)으로 한정했기 때문에

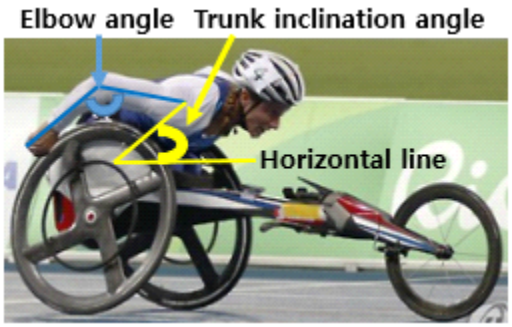

Fig. 4. Definition of elbow angle, trunk inclination angle (Lim, 2003)

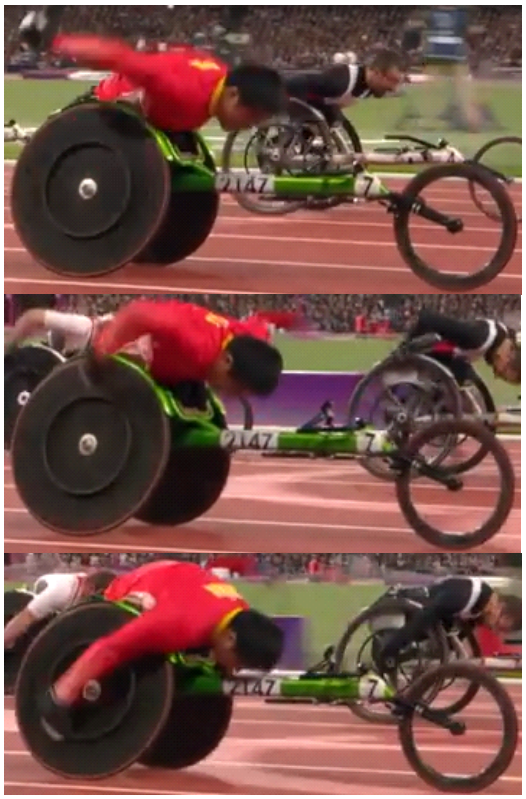

Fig. 5. Sequence of propulsion in wheelchair racing

방법론상의 차이 때문이라고 보고하였다(Goosey & Campbell, 1998). 4.70m/s에서의 추진 각도(177±29도)와 6.58m/s에서의 추진 각도(192±24도)의 값은 선행연구(Wang et al., 1995)와 일치되게 나타났다. 휠체어 경주자의 휠체어 의자는 더 낮고 더 후방에 위치하기 때문에 힘을 가해주는 핸드림을 더 크게 작용하기 때문에 일상생활을 하는 휠체어 사용자보다 더 큰 추진 각도를 보인다.

휠체어 추진 효율에 관한 연구

운동생리학 측면에서의 효율

효율(efficiency)은 일정한 일률(work rate) 수준에서 점증 부하 혹은 최대하 운동검사에 대한 호흡 반응을 측정함으로써 작업을 수행함에 따라 인체 기계가 사용하는 에너지가 어느 정도(%)인지를 알 수 있는데, 이 정도를 효율이라 정의한다. 총효율(gross efficiency)은 운동 중에 소비된 총 에너지양에 대한 작업량의 비율을 말한다. 순효율(net efficiency)은 소비된 총 에너지량에서 안정시 에너지 소비량을 제외한 에너지량에 대한 작업량의 비율을 말한다. 작업효율(work efficiency)은 소비된 총 에너지량에서 아무런 부하가 주어지지 않은 운동 상태를 제외한 에너지량에 대한 작업량의 비율을 말한다(Lim, 2003).

효율적인 운동에 영향을 미치는 요인은 첫째, 운동 강도 둘째, 움직임 속도 셋째, 운동수행에 동원되는 근섬유의 분포이다. 효율은 운동 강도가 증가 할수록 감소하는 경향을 보인다(Donovan & Brooks, 1977; Powers, Beadle & Mangum, 1984). 이러한 경향은 에너지 소비량과 운동 강도의 관계가 직선적 보다는 곡선적이기 때문이다(Gaesser & Brooks, 1975; Powers, Beadle & Mangum, 1984). 그러므로 운동 강도가 증가하면 총에너지 소비량이 증가하여 효율이 떨어지게 된다.

지금까지의 연구는 주어진 운동 강도에서 최적의 운동속도가 존재한다는 것을 보여주고 있다. 최근의 연구는 파워 생산량이 증가 할수록 운동의 최적 속도 또한 증가한다는 것을 설명해 준다(Coast & Welch, 1985). 달리 표현하자면, 최대 파워를 내기 위해서는 움직임의 최고 속도를 내야 효율이 증가한다. 자전거 및 팔 에르고미터에서 페달의 최적속도는 40-60rpm으로 간주되며 이는 저강도에서 보통 강도 사이를 나타낸다

(Gaesser & Brooks, 1975; Michielli & Stricevic, 1977; Powers, Beadle & Mangum, 1984; Seabury, Adams & Ramey, 1977). 그러나 무엇보다 중요한 것은 운동의 최적속도에서 벗어나는 운동은 효율이 감소한다. 느린 속도의 운동에서 효율이 감소하는 이유는 아마도 관성 때문일 것이다(Powers, Beadle & Mangum, 1984). 이것은 동작이 느리거나 몸의 움직임이 반복적으로 멈추고 다시 시작할 때, 일을 수행하는 에너지 소비가 증가하기 때문이다. 또한, 운동 강도는 낮고 운동속도는 빠른 운동에서는 골격근의 마찰을 증가시키며 신체 내적 운동량을 증가시켜 효율이 감소한다(Cavanagh & Kram, 1985; Powers, Beadle & Mangum, 1984).

자전거 에르고미터 운동을 할 때 피험자별로 순효율은 매우 다양하게 나타났다. 최근의 연구결과에서 지근섬유의 비율이 높은 사람은 속근 섬유의 비율이 높은 사람보다 높은 효율을 나타낸다(Horowitz et al., 1994). 이러한 실험결과의 생리학적인 설명은 지근섬유가 속근섬유보다 더욱 효율적이며 이는 운동수행 능력에 필요한 ATP가 지근보다 속근에 더욱 많이 필요로 함을 나타낸다. 높은 운동 효율은 운동수행력을 향상시키기 때문에 매우 중요하다. 따라서 지구성 운동수행 능력은 운동의 효율을 높임으로서 향상할 수 있다(Horowitz et al., 1994). 이는 높은 효율성을 갖는 운동선수는 낮은 효율성을 가진 선수와 비교하여 에너지 소비량당 더 많은 파워를 낼 수 있음을 의미한다. 즉, 높은 운동 효율은 주어진 ATP를 사용하는데 있어서 파워를 향상시킴으로서 지구력 운동능력을 향상시킬 수 있다.

Woude et al.(1988)은 표준보다 적은(smaller-than-standard) 핸드림을 사용할 때 효율이 높으며, 동일한 외부파워출력(external power output)하에서 더 낮은 심호흡 스트레인을 받는다고 하였다. Jung(1998)은 건강한 척수 장애인 8명을 대상으로 휠체어 추진 시 전방 및 후방 추진 방법 간 에너지 대사 반응 및 상지근 피로도와 추진 동작의 차이를 밝히는 연구를 수행하였다. 연구결과, 7분마다 운동 강도가 증가되는 최대하 운동검사를 통하여 총효율은 전방 추진 9.21±1.47%, 후방 추진 8.71±2.23%로 나타났으나, 전·후방 추진 방법 간에 유의한 차이는 없었다고 하였다. 또한 순효율에서 전·후방 추진 각각 12.24±2.71%, 11.65±3.84%, 작업 효율에서 전·후방 추진 각각 20.07±4.84%, 16.56±8.05%로 나타났으나, 전·후방 추진 방법 간 유의한 차이는 나타나지 않았다고 하였다.

낮은 기계적 효율로 수행하는 선수들은 심호흡계와 근골격계 시스템에서 상대적으로 높은 스트레인을 경험한다(Hughes, Weimar, Sheth & Brubaker, 1992). 높은 기계적 효율의 선수들은 더 낮은 심박수, 혈중 젖산 농도, 사이클 당 일(work per cycle)을 보였으며, 더 좋은 추진 경제를 보였으며, 생리학적 스트레인을 덜 경험한다고 하였다(Hughes et al., 1992).

Vanlandewijck et al.(1994)은 휠체어 추진 시 추진 및 회복구간에서의 움직임과 근육활동패턴을 분석 하였다. 40명의 휠체어 농구 선수들을 대상으로 농구용 휠체어(모델 : Quicki GGPV, 무게 : 11.6kg, 캠버 : 0도, 핸드림 직경 : 53cm, 좌석의 높이 : 팔꿈치 각도의 90도)를 타고 트레드밀 위에서 일정한 파워로 2가지 운동수준(분당 최대산소섭취량의 60%와 80%)과 3가지 속도(1.11, 1.67, 2.22m/s)에서 실험하였다. 총 효율은 11.5%를 초과하지 않았으며, 총 효율의 평균값은 80% 운동수준에서 조금 더 높았음에도 불구하고 운동수준에 종속되지 않았다. 비록 모든 테스트가 일정한 파워 출력으로 수행되었지만, 속도의 증가에 따른 효율의 감소로 인하여 에너지 소비는 현저하게 증가하였다고 보고하였다. 대부분의 선행연구에서 속도와 효율은 반비례한다고 하였는데, 본 연구에서는 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 효과적이었다고 하였다. 또한 속도가 증가(1.67→2.22m/s)할 때 총 기계적 효율에서 유의한 효과가 나타났으며, 기계적 효율의 감소는 휠체어에 작용하는 관성력(inertial forces)에 의해 유도되는 팔과 몸통 움직임에 의해서 회복기동안 휠체어-사용자 시스템의 가속도의 변화에 의해 설명된다고 하였다. 결과적으로 기계적 일은 회복 구간에서 유의하게 증가하며, 이와 같은 결과는 휠체어 추진 시 기계적 효율

은 추진구간에서의 파워 공급뿐만 아니라 회복구간에서도 움직임 패턴에 초점을 두어야 한다고 하였다.

Veeger et al.(1992)은 속도가 0.83m/s에서 1.67m/s으로 증가하면 분당 산소섭취량이 유의하게 증가해서, 총효율은 파워출력 0.25W/kg에서 8.2%에서 6.0%까지, 파워출력 0.50W/kg에서 10.4%에서 8.5%까지 유의하게 감소한다고 하였다. Kang et al.(1997)은 8명의 남자대학생을 대상으로 3번의 간헐적(intermittent) 7분간(휴식 10분씩) 최대산소섭취량의 50, 60, 70%에 해당하는 동일한 강도의 팔(arm crank)과 다리(cycle)의 에르고미터 운동 시 총효율, 순효율, 작업효율, 델타효율을 비교하였다. 총효율과 순효율에서 팔과 다리 운동사이의 차이는 나타나지 않았다. 그러나 작업효율 및 델타효율에서 팔운동이 다리운동보다 더 낮게 나타났다.

운동역학 측면에서의 효율

Brattgard, Grimby & Hook(1970)은 일반 보행의 효율은 27%이며, 일반 휠체어 추진은 보행보다 덜 효율적이라고 하였다. 핸드림 휠체어 추진 시 효율은 거의 10%를 초과하지 않으며, 암 크랭킹(16%) 및 사이클링(18-23%)보다 훨씬 낮다. 그 결과로 일상생활에서 신체적 스트레인을 많이 받게 되어 상지에 많은 부하를 준다. 나중에는 과다사용으로 인해 어깨와 손목에 부상을 입게 된다고 하였다. 이러한 낮은 기계적 효율은 에너지 손실이 크다는 것을 의미한다(Woude et al., 1988; Groot, Veeger, Hollander & Woude, 2002). 항정상태(steady-state)의 최대하 조건에서 기계적 효율이 10%라는 의미는 90%가 열로 방출되며, 단지 10%만이 휠체어의 구름 저항(rolling resistance), 공기 항력(air drag), 내부 저항(internal friction)을 극복하는데 사용된다. 또한, Brattgard 등(1970)은 경주용 휠체어의 총 기계적 효율은 30%이상이며, 10K 휠체어 선수들은 최대 총 효율이 35%라고 하면서 레이싱 휠체어가 더 효율적인 이유는 항공 다이나믹 이동 기구(aerodynamic transportation device)로 만들어졌기 때문이라고 하였다.

Goosey et al.(1998)은 4.70m/s(18명)과 6.58m/s(12명)의 2가지 속도에서 추진 경제와 운동학적 변인간의 관계를 연구하였는데 2가지 속도에서 높은 기계적 효율을 보인 선수들은 추진 경제가 좋게 나타났다고 하였다. 4.70m/s의 속도에서 기계적 효율의 범위는 7~19%로 나타났으며, 경제적인 집단은 12%, 비경제적인 집단은 8%로 나타났다. 따라서 경제적인 집단에서는 높은 기계적 효율로 일을 하고, 비경제적인 집단에서는 효과적이지 못한 동작으로 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 6.58m/s의 속도에서도 높은 기계적 효율을 보인 선수들은 추진 경제가 좋게 나타났다(r=-.70, p<.05). 낮은 기계적 효율을 보이는 것은 휠체어에 가하는 관성력(inertial forces)을 유도하는 팔과 몸통 움직임에 의해 일어나는 휠체어 가속도의 유의한 변화 때문이라고 보고하였다.

Groot et al.(2002)은 정상인 초보자 실험집단 10명(3주간 휠체어 에르고미터 위에서 연습)과 통제집단 10명(트라이얼 1과 9만 수행)을 대상으로 한 총효율의 변화연구에서 실험집단(트라이얼 1에서 7.45±0.87%, 트라이얼 9에서 8.11±0.56%)은 통제집단(트라이얼 1에서 7.37±0.75%, 트라이얼 9에서 7.23±0.90%)보다 통계적으로 유의하게 증가(트라이얼×집단의 상호작용 p=.044)하였다고 보고하면서, 연습은 효율에 긍정적인 효과를 준다고 하였다. 결국, 트레이닝과 학습을 통하여 생리학적 적응과 향상된 추진 기법의 결과로 효율이 향상된다고 하였다.

에너지소비를 줄이는 것은 휠체어 디자인을 결정하는 중요한 요인이며, 휠체어 캠버는 휠체어 디자인 특성을 결정하는 중요한 요인이다. Huang et al.(2013)은 12명의 일반인을 대상으로 캠버 0도와 15도일 때 상지의 역학적 파워를 규명하였다. 연구결과, 캠버 15도일 때 상지 분절의 관절 파워와 근육 파워가 증가하였다. 15도의 캠버를 추진할 때, 에너지 소비가 증가할 뿐만 아니라 에너지의 손실도 크다.

휠체어 관련 최신 연구동향

van der Slikke et al.(2018)은 장애가 낮은 등급 10명과 높은 등급 10명을 대상으로 농구용 휠체어의 필

드테스트를 통해 휠체어 디자인 특성이 움직임에 미치는 영향을 규명하였다〈Fig. 6〉. 연구결과, 휠체어의 질량이 추가되면 평균가속도는 감소하며, 휠체어 이동성 성능(wheelchair mobility performance)은 가장 좋아진다. 또한, 질량이 추가되면 최대회전속도와 회전가속도가 감소한다고 보고하였다. 좌석의 높이가 높아지면 전력으로 달릴 때와 회전할 때 움직임 수행력에 유의한 영향을 미쳤으며, 좌석의 높이를 낮추면 거의 영향을 미치지 않았다. 또한 핸드림의 그립을 넓혀도 움직임 수행력에는 거의 영향을 미치지 않았다. 낮은 등급과 높은 등급의 농구용 휠체어 선수들 간에는 테스트 결과의 차이가 나타나지 않았다. van der Slikke et al.(2018)의 연구는 휠체어의 질량의 효과를 규명한 것에 의미를 둘 수 있다. 좌석의 높이와 관련해서는 Higgs(1983)의 결과와 상반되게 보고되었는데, 레이싱 휠체어에서는 좌석이 낮은 휠체어가 가장 뛰어난 성능을 보였으며, 농구용 휠체어는 좌석이 높은 휠체어가 이동성 성능이 더 좋은 것으로 나타났다. 그 차이는 휠체어 종목(레이싱 vs 농구용)의 차이인 것으로 판단된다.

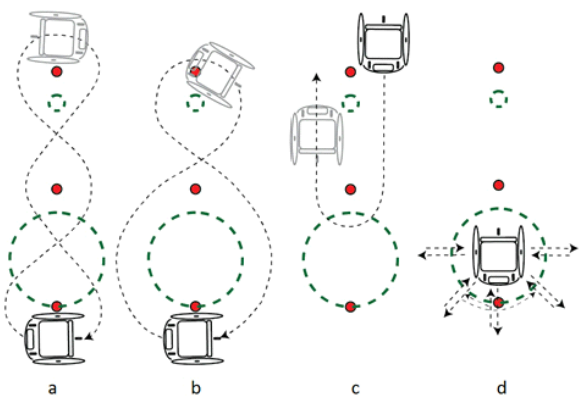

Fig. 6. Wheelchair field test (van der Slikke et al., 2015)

Mason(2011)은 코트 스포츠(농구, 럭비, 테니스)용 휠체어를 대상으로 최대하 추진(sub-maximal propulsion) 동안에 캠버 24도는 캠버 15도와 18도와 비교해서 외적 파워, 산소섭취, 심박수가 더 높게 나타났으며, 캠버 20도와 24도는 캠버 15도와 18도와 비교해서 총효율이 더 높게 나타났다고 보고하였다. 또한, 캠버 18도는 24도에 비해 전력으로 추진하는 속도가 더 빠르게 나타났다고 하였다. 핸드림크기 24는 26에 비해 외적 파워, 산소섭취, 심박수가 더 크게 나타났으며, 핸드림크기 26은 24에 비해 20미터 전력달리기 소요시간이 줄어들었다. 작은 핸드림은 동일한 속도를 유지하는데 더 큰 힘이 든다. 캠버가 크고(24도) 핸드림 크기가 작은(24) 휠체어는 요구되는 산소섭취와 신체적 요구가 더 크고 최대 전력달리기 수행력이 감소하므로 좋지 않다고 보고하였다. 경주용 휠체어의 캠버(8도와10도)에 비해서 코트용 휠체어의 캠버(20도와 24도)가 큰 것을 사용하는 것으로 보아, 종목 간에 큰 차이가 있는 것으로 타나났다.

Simim et al.(2017)은 휠체어 스포츠의 트레이닝과 시합 상황에서 부하를 측정하는 주요 변인들은 무엇인지를 규명하는 연구를 수행하였다. 연구결과, 시합 상황에서는 외적부하(거리, 속도, 기간), 트레이닝 상황에서는 내적부하(심박수, 산소섭취량), 트레이닝과 시합 양쪽을 다 고려한 상황에서는 내적부하(트레이닝 강도, 인지운동의 비율)가 부하를 측정하는 주요 변인들로 규명되었다.

Sabari et al.(2016)은 휠체어 사용자는 경추와 관절와상완관절(glenohumeral joint)에 반복되는 스트레스 부상(repetive stress injuries, RSI)을 입게 되는데, 휠체어 좌석의 높이가 목과 어깨의 운동범위에 영향을 미쳐서 이 부위에 부상을 입히는 원인이 될 수 있다고 하였다. 결국, 위 연구가 주는 메시지는 휠체어 사용자의 신체 특성을 고려한 휠체어를 선택해야 신체에 가해지는 부하를 줄여 부상을 감소시킬 수 있다는 것을 의미하는 것이다.

결론 및 제언

휠체어 스포츠의 운동수행력을 향상시키기 위해서는 선수 개개인의 체력, 기술, 전술적인 요인과 함께 빠른 추진 및 방향전환을 위한 휠체어 디자인 특성(성능)을 향상시켜야 한다. 휠체어 디자인에 관한 선행연구는 좌석의 높이, 핸드림 크기, 캠버 등 크게 3가지로 나누어 진행되어왔다.

가장 효과적인 좌석의 높이는 선수의 몸통과 팔의 길

이 및 핸드림 크기와 관련이 있다. 낮은 좌석은 추진효율이 높고, 높은 좌석은 에너지 소비가 증가한다. 에너지 소비(총 효율)에서 휠체어 좌석의 적정 높이는 팔꿈치 각도의 100~120도이다. 핸드림 크기는 휠체어 추진에서 기어와 같은 역할을 하는데, 작은 직경의 핸드림을 사용하면 고단 기어를 선택한 것이며 가속도에서 손해를 보며 최고속도에서 이득을 본다. 반대로 큰 직경의 핸드림을 사용하면 저속 기어를 선택한 것이며 가속도에서 이득을 보며 최고속도에서 손해를 본다. 결론적으로 핸드림 휠체어에서 여러 가지 기어의 응용은 가치가 있으나, 기어의 비율은 파워와 속도를 고려해야 한다. 캠버 각이 증가하면 측면 안정성이 향상되며, 손이 핸드림을 잡는 것이 쉬워지며, 팔 운동이 수월해져서 에너지 소비와 추진 기법에서 긍정적인 효과가 기대된다. 또한 캠버가 증가하면 기계적 효율이 커지며, 안정성이 증가하며, 휠체어 추진 시 요구되는 파워가 감소된다. 경주용 휠체어의 캠버는 8도와 10도를 가장 많이 사용하며, 농구용 휠체어의 캠버는 20도와 24도를 많이 사용한다.

본 총설연구와 관련하여 후속 연구에서 반드시 고려해야 할 과제를 제시하면 다음과 같다. 첫째, 필드 테스트와 트레드밀 테스트에서의 효율과 운동학적 변인들 사이의 차이를 규명하는 연구가 필요하다. 둘째, 종합적인 관점에서의 휠체어 추진 메케니즘을 이해하기 위해서는 근육의 활동 및 근육의 피로도, 휠체어 추진에 관여하는 관절력 및 관절회전력, 속도에 따른 메케니즘의 변화에 관한 연구가 필요하다. 셋째, 다양한 캠버 및 핸드림 크기의 제작을 통한 비교 연구가 필요하다. 최적의 성능을 발휘하는 스포츠 휠체어의 평가와 시뮬레이션을 통한 새로운 스포츠 휠체어 제작의 기초 자료로 활용되기 때문이다. 넷째, 휠체어 디자인 및 바퀴와 바닥의 마찰 등 외적 환경 및 조건의 변화에 따른 연구가 필요하다. 휠체어 추진에 영향을 미칠 수 있는 좌석의 높이와 폭, 좌석의 앞·뒤 높이, 좌석의 길이, 등받이 높이, 축의 위치, 앞 프레임 폭, 앞 프레임 높이, 바퀴 사이의 거리 등을 변화시켰을 때의 결과 검증은 적정한 스포츠 휠체어 제작 및 평가의 차이를 확인시켜 줄 것이다. 마지막으로, 다양한 연구대상자의 비교 연구가 필요하다. 장애 등급 및 장애 유형 각 집단에 대한 연구 및 정상인과의 비교 연구는 보다 심도 있는 추진 동작의 차이를 밝힐 수 있을 것이다.

참고문헌

Brattgard, S. O., Grimby, G., & Hook, O. (1970). Enegy expenditure and heart rate in driving a wheel-chair ergometer. *Scandinavian Journal of Rehabilitative Medicine, 2*. 143-148.

Brubaker, C., McLaurin, C., & McClay, I. (1986). Effects of side slope on wheelchair performance. *Journal of Rehabilitation Research and Development, 23*. 55-57.

Buckley, S. M., & Bhambhani, Y. N. (1998). The Effects of Wheelchair Camber on Physiological and Perceptual Responses in Younger and Older Men. *Adapted physical activity quarterly, 15*. 36-50.

Cavanagh, P., & Kram, R. (1985). Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 17*. 326-331.

Churton, E., & Keogh, J. W. (2013). Constraints influencing sports wheelchair propulsion performance and injury risk. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 28*, 5:3.

Clarke, R. (1986). *Wheelchair sports: Technique and training in athletics.* Cambridge: Woodheag-Faulkner.

Coast, J., & Welch, H. G. (1985). Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *European Journal of Applied Physiology,* 53. 339-342.

Donovan, C., & Brooks, G. (1977). Muscular efficiency during steady-rate exercise: Effects of speed and work rate. *Journal of Applied Physiology, 43*. 431-439.

Gaesser, G., & Brooks, G. (1990). Muscular efficiency during steady-rate exercise: Effects of speed and work rate. *Journal of Applied Physiology, 38.* 1132-1139.

Goosey, V. L., Campbell, I. G., & Fowler, N.E. (1997). A kinematic analysis of the wheelchair racing techniques of male, female, and junior male athletes. *Adapted Physical Activity Quarterly, 14*. 156-165.

Goosey, V. L., & Campbell, I. J. (1998). Pushing Economy and Propulsion Technique of Wheelchair Racers at Three Speeds. *Adapted physical activity quarterly, 15*. 36-50.

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,* 756-766.

Huang, Y. C., Guo, L. Y., Tsai, C. Y., & Su, F. C. (2013). Mechanical energy and power flow analysis of wheelchair

use with different camber settings. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. 16*(4), 403-412.

Higgs, C. (1983). An analysis of racing wheelchairs used at the 1980 Olympic Games for the Disabled. *Research Quarterly for Exercise and Sports, 54*(3), 229-233.

Hilbers, P. A., & White, T. P. (1987). Effects of wheelchair design on metabolic and heart rate responses during propulsion by persons with paraplegia. *Physical Therapy, 67*. 1355-1358.

Horowitz, J. (1994). High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *International Journal of Sports Medicine, 15*. 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*. 263-269.

Jones, D., Baldini, F., Cooper, R., Robertson, R., & Widman, L. (1992). Economical aspects of wheelchair propulsion. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 24(5)*(Suppl.). S32.

Jung, D. (1998). *The Effects of forward and backward propulsions on energy metabolism, upper body's muscle fatigue and wheeling motion in manual wheelchair.* Ph.D. Dissertation, Seoul National University.

Lim, B. (2003). *The effects of wheelchair camber and handrim size in wheelchair basketball movement.* Ph.D. Dissertation, Seoul National University.

Mason, B. (2011). *The ergonomics of wheelchair configuration for optimal sport performance.* Ph.D. Dissertation, Loughborough University. Leicestershire, UK.

Mason, B., van der Woude, L., Lenton, J. P., & Goosey-Tolfrey, V. (2012). The effect of wheel size on mobility performance in wheelchair athletes. *International Journal of Sports Medicine, 33*(10), 807-812.

Meijs, P. J. M., Oers, C. A. J. M. van, Veeger, H. E. J., & Woude, L. H. V. van der. (1989). The effect of seat height on the physiological response and propulsion technique in wheelchair ambulation. *Journal of Rehabilitation Sciences, 2*(4). 104-107.

Michielli, D., & Stricevic, M. (1977). Various pedalling frequencies at equivalent power outputs. *New York State Medical Journal, 77*. 744-746.

Powers, S. K., Beadle, R., & Mangum, M. (1984). Exercise efficiency during arm ergometry : Effects of speed and work rate. *Journal of applied physiology, 56*. 495-499.

Ridgway, M., Pope, C., & Wilkerson, J. (1988). A kinematic analysis of 800 meter wheelchair-racing techniques. *Adapted Physical Activity Quarterly, 5*. 96-107.

Sabari, J., Shea, M., Chen, L., Laurenceau, A., & Leung, E. (2016). Impact of wheelchair seat height on neck and shoulder range of motion during functional task performance. *Assistive Technology, 28*(3), 183-189.

Sanderson, D. J., & Sommer, H. J. (1986). Kinematic features of wheelchair propulsion, *Journal of Biomechanics, 18*(6). 423-429.

Seabury, J., Adams, W., & Ramey, M. (1977). Influence of pedalling rate and power output on energy expenditure during bicycle ergometry. *Ergonomics, 20*. 491-498.

Simim, M. A. M., de Mello, M. T., Silva, B. V. C., Rodrigues, D. F., Rosa, J. P. P., Couto, B. P., & da Silva, A. (2017). Load Monitoring Variables in Training and Competition Situations: A Systematic Review Applied to Wheelchair Sports. *Adapted Physical Activity Quarterly, 34*(4), 466-483.

Statistics Korea(2016). Statistics annual report.

Tsai, C. Y., Lin, C. J., Huang, Y. C., Lin, P. C., & Su, F. C. (2012). The effects of rear-wheel camber on the kinematics of upper extremity during wheelchair propulsion. *Biomedical Engineering Online, 22*, 11:87.

Trudel, G., Kirby, R. L., & Ackroyd-Stolarz, S. A. (1997). Effects of rear-wheel camber on wheelchair stability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 78*. 78-81.

Trudel, G., Kirby, R. L., & Bell, A. C. (1995). Mechanical effects of rear-wheel camber on wheelchairs. *Assistive Technology: the Official Journal of RESNA, 7*. 79-86.

van der Slikke, R. M. A., Berger, M. A. M., Bregman, D. J. J., & Veeger, H. E. J. (2015). Wheel skid correction is a prerequisite to reliably measure wheelchair sports kinematics based on inertial sensors. *Procedia Engineering, 112*, 207–212.

van der Slikke, R. M. A., de Witte, A. M. H., Berger, M. A. M., Bregman, D. J. J., & Veeger, D. J. H. E. J. (2018). Wheelchair Mobility Performance enhancement by

Changing Wheelchair Properties; What is the Effect of Grip, Seat Height and Mass? *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*, 1-31.

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*. 1373-1381.

Veeger, D., van der Woude, L. H. V., & Rozendal, R. H. (1992). Effect of handrim velocity on mechanical efficiency in wheelchair propulsion. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 24*(1). 100-107.

Veeger, H. E. J., Woude, L. H. V. van der, Bieleman, H. J., & Paul, J. A. (1988). *EMG and movement pattern in maunal wheelchair propulsion.* Proceedings of International Society of Electromyography and Kinesiology(pp. 489-492). ISEK, Enschede.

Wang, Y. T., Deutsch, H., Morse, M., Hedrick, B., & Milikan, T. (1995). Three-dimensional kinematics of wheelchair propulsion across racing speeds. *Adapted Physical Activity Quarterly, 12*. 78-89.

Woude, L. H. V. van der., Veeger, H. E. J., Meys, P., & Oers, L. van (1988). *The effect of sitting height on physiology and propulsion technique.* In Proceedings of the Third European Conference on Research in Rehabilitation.

Woude, L. H. V., Veeger, H. E. J., & Rozendal, R. H. (1990). Seat height in handrim wheelchair propulsion : A follow up study. *Journal of Rehabilitation Science, 3*. 79-83.

휠체어 스포츠 경기력 향상을 위한 디자인 특성

임비오(중앙대학교)

〔목적〕 본 논문은 휠체어의 성능에 영향을 미치는 휠체어 구조(좌석의 높이, 캠버 및 핸드림 크기), 휠체어 추진 동작(기능적 특성 및 인간 운동역학적 측면) 및 휠체어 추진 효율(운동생리학 및 운동역학적 측면)과 관련된 주제를 대상으로 과거 연구부터 최신 연구까지의 연구동향 및 변천을 제시하는 것이다. **〔결과〕** 휠체어 스포츠의 운동수행력을 향상시키기 위해서는 선수 개개인의 체력, 기술, 전술적인 요인과 함께 빠른 추진 및 방향전환을 위한 휠체어 디자인 특성(성능)을 향상시켜야 한다. 휠체어 디자인에 관한 선행연구는 좌석의 높이, 핸드림 크기, 캠버 등 크게 3가지로 나누어 진행되어왔다. 가장 효과적인 좌석의 높이는 선수의 몸통과 팔의 길이 및 핸드림 크기와 관련이 있다. 좌석이 낮으면 추진효율이 높고, 좌석이 높으면 에너지 소비가 증가한다. 에너지 소비(총 효율)에서 휠체어 좌석의 적정 높이는 팔꿈치 각도의 100~120도이다. 핸드림 크기는 휠체어 추진에서 기어와 같은 역할을 하는데, 작은 직경의 핸드림을 사용하면 고단 기어를 선택한 것이며 가속도에서 손해를 보며 최고속도에서 이득을 본다. 반대로 큰 직경의 핸드림을 사용하면 저속 기어를 선택한 것이며 가속도에서 이득을 보며 최고속도에서 손해를 본다. 핸드림 휠체어에서 여러 가지 기어의 응용은 가치가 있으나, 기어의 비율은 파워와 속도를 고려해야 한다. 캠버 각이 증가하면 측면 안정성이 향상되며, 손이 핸드림을 잡는 것이 쉬워지며, 팔 운동이 수월해져서 에너지 소비와 추진 기법에서 긍정적인 효과가 기대된다. 또한 캠버가 증가하면 기계적 효율이 커지며, 안정성이 증가하며, 휠체어 추진 시 요구되는 파워가 감소된다. 경주용 휠체어의 캠버는 8도와 10도를 가장 많이 사용하며, 농구용 휠체어의 캠버는 20도와 24도를 많이 사용한다. 농구용 휠체어의 필드테스트를 통해 휠체어의 질량이 추가되면 최대회전속도와 회전가속도가 감소하고, 좌석의 높이를 높이면 전력으로 달릴 때와 회전할 때 움직임 수행력에 영향을 미쳤으며, 좌석의 높이와 핸드림의 그립 사이즈는 움직임 수행력에는 거의 영향을 미치지 않았다. **〔결론〕** 휠체어 코치 및 선수들은 이러한 휠체어 디자인 성능을 고려하여 최상의 휠체어-선수 간의 조합을 찾아야 할 것이다.

주요어: 휠체어, 스포츠, 디자인, 캠버, 핸드림