

글 ■ 정 모 / 영남대학교 공과대학 기계공학부 교수
e-mail ■ mchung@yu.ac.kr

여기에서는 테니스와 관련된 연구 분야를 소개하고, 테니스 경기의 특성을 응용 가능한 연구 분야를 요약해 본다.

테니스 경기는 여러가지 운동 종목 중 비교적 배우기 힘든 쪽에 속한다. 골프처럼 고정되어 있는 공을 치는 것이 아니고 항상 움직이는 공을 쳐야 하고 자신의 타구 자체로만 승부가 결정되는 게 아니라 반드시 상대와 정면으로 대결하여 극복해야만 승리할 수 있는 특성이 있기 때문이다. 따라서 테니스 교습이 그만큼 어렵고 관련된 분야도 넓다. 테니스와 직접적으로 관련 있는 주요 연구 분야를 나열해 보다면 다음과 같다.

- Physics(물리학)
- Biomechanics(생체역학)
- Motor Learning(운동 기능 습득론)
- Medicine(의학)
- Psychology(심리학)
- Brain Type(뇌형)
- Statistics(통계학)

경기의 복잡성에 비추어 이들 중 특정 분야 하나만 테니스의 문제를 해결할 수는 없겠고 이들을 종합적으로 응용하여야 좋은 결과를 얻을 수 있게 된다. 여기에서는 테니스 선수 또는 동호인들이 참고할 수 있도록 이들 각 연구 분야를 간략하게 소개하고 경기력 향상에 직접적으로 응용할 수 있는 주요 연구 결과에 대하여 설명하기로 한다.

물리학(Physics)

테니스 경기는 라켓으로 공을 타격해서 상대방 코트로 넘기는 전 과정이 물리적으로 상세하게

해석될 수 있다 점에서 물리학은 테니스 연구의 핵심적 역할을 담당해 왔다. 승패를 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나인 공의 궤적은 무엇보다도 뉴턴의 운동 역학의 법칙을 따른다. 또한 수준 높은 경기에 있어 필수적인 스판에 의한 공 컨트롤은 공기역학과 중력에 대한 이해가 기본이 된다. 또한 효과적인 타법을 위한 라켓의 스윙 궤적, 라켓 또는 공과 같은 기구의 특성들도 물리적으로 정량적인 해석이 가능한 분야이다. 물리학적 관점에서 경기에 참조가 될 만한 핵심 연구 결과를 소개하면 다음과 같다.

- 타격시 공과 라켓은 대략 4~6/1,000초 정도 접촉한 상대를 유지한다. 이 결과는 실제 경기에 대한 수 많은 고속 사진 분석 결과 확고하게 알려진 사실로서 테니스 경기를 할 때 유효타를 치기 위해 무엇이 필요한지에 대한 중요한 단서를 제공한다. 인간의 뇌에 대한 별도의 연구 결과에 따르면 인간의 뇌가 근육을 동원하는 명령을 수행하는 데 필요한 시간은 150~200/1,000초가 필요한 것으로 밝혀졌다. 따라서 접촉 시간과 근육 동원 시간에 대한 상대적 비교를 통하여 '테니스 스트로크에서는 타격 도중 상대의 움직임에 대한 피드백을 받아 타격 방법을 교정할 시간적 여유가 없다.'는 결론을 얻을 수 있다. 따라서 최선의 타법은 마치 사격을 하는 것처럼 일단 목표를 세팅했으면 중간에 상대 선수가 어떻게 움직이든 관계 없이 애초 목표한 대로 타격하는 것이라고 말할 수 있겠다. 초일류 선수들이 상대방 움직임을 완전히 도외시 한 채 공만 주시하면서 스트로



크를 치는 모습을 찍은 사진을 자주 보는데 이것은 위의 사실을 뒷받침하는 좋은 예라고 볼 수 있다.

• 라켓에는 세 가지 종류의 서로 다른 sweet spot이 존재한다. 라켓에는 스윙 방법과 무관하게 두 개의 sweet spot이 있다. 무게중심은 라켓의 구조에 따라 결정되며 진동에 대한 node는 라켓의 구조나 강성 등의 영향을 받는다. 그러나 실제 경기에서 더 중요한 sweet spot은 center of percussion으로서 이 부분으로 타격하면 손잡이 부근에 반력이 발생하지 않게 되어 파워 향상뿐 아니라 부상 예방에도 도움이 되는 것으로 알려져 있다. Center of percussion은 라켓의 스윙 반경에 따라 그 위치가 변하므로 타격 습관에 따라 개인별로 라켓 면 상에서 위치에 차이가 있게 된다.

• 라켓 스트링은 약하게 맬수록 공의 반구 속도가 빨라진다. 라켓과 공이 충돌하면 공과 라켓이 가진 운동 에너지가 라켓 줄과 공이 변형하면서 탄성 에너지로 저장되고 일부는 비가역적으로 소산된다. 줄을 만든 재료와 공을 만든 재료에 대한 간단한 실험을 통해 알 수 있듯이 변형이 시 공의 비가역성 더 크다. 따라서 충격시 비가역성이 적은 줄이 많이 변형하도록 하여야 반구되는 공의 속도가 커지게 된다. 줄이 많이 변형하려면 줄을 느슨하게 매어야 한다.

• 공의 반구 속도는 대략 상대방 반구 속도에 자신이 스윙 하는 라켓 헤드 속도의 1.5배를 더한 것과 같다. 테니스 경기에서 공을 강하게 치는 이유는 빠른 공을 보내서 상대방의 반응 시간을 뺏기 위해서이다. 반구되는 공의 속도는 라켓과 공의 재질, 공이 가지고 있는 속도와 스핀 등 초기 조건, 라켓의 스윙 속도와 방법 등 여러가지 변수의 영향을 받는 것이 사실이지만 가장 중요한 두 가지 변수는 공의 속도와 라켓 헤드의 속도인 것으로 밝혀졌다. 결국 빠른 공을 치기

위해서는 공과 라켓이 만나는 순간에 있어 라켓 헤드 속도를 빠르게 하면 된다고 이해하고 있으면 틀림 없다.

• 베이스 라인에서 그라운드 스트로크로 자연스런 탑스핀을 걸어 공이 상대방 코트 깊게 들어가게 하기 위해서는 네트 위로 2m 이상 높게 들어 올려 보내야 한다. 평균적인 그라운드 스트로크에 대해 다양한 측정과 시뮬레이션을 해본 결과 베이스라인에서 공을 칠 때는 기본적으로 네트 위로 상당히 높게 보내야 상대방 베이스라인 깊게 떨어지는 좋은 공을 칠 수 있는 것으로 밝혀졌다.

• 발리는 플랫으로 하는 것이 물리 법칙에 가장 순응하는 것이다. 앞에서 언급한 것처럼 공과 라켓은 순간적으로 만나는 것이기 때문에 공과 라켓이 접촉하는 순간 라켓은 최대한 정속한 운동을 하는 것이 좋다. 공의 반구 방향을 결정하는 또 다른 요소는 소위 입사각-반사각의 원리로 거울에서 빛이 반사하는 것과 유사하다. 여러가지 복잡한 파과적 요소를 배제하기 위해서는 입사각-반사각을 영도에 두고 슬라이스보다는 플랫성으로 발리 하는 것이 성공 확률이 가장 높다. 발리의 명수로 널리 알려진 존 매켄로는 라켓을 직각으로 세워 수평으로 약 10여 cm 정도 플랫으로 스윙하는 간결한 타법을 구사하였다.

• 서브는 반드시 어느 정도 탑스핀이 가미되어야 성공 확률이 높아진다. 네트가 갖는 높이와 베이스라인에서 너트까지의 거리라는 기하학적 배치 때문에 서브를 직선으로 넣어 성공 시킬 수 있는 각도는 매우 적다. 2m가 넘는 장신이 서브를 해도 성공 각도는 불과 2도 정도밖에 없게 된다. 따라서 서브의 궤적은 반드시 아래로 굽어야 하고 이것을 달성하는 방법은 두 가지밖에는 없다. 중력을 이용하거나 공기역학적으로 커브 볼을 구사하는 방법뿐이다. 일류 프로 선수들은 첫 서브에서도 상당량의 탑스핀을 구사하여 공이 아

래로 굽도록 한다. 피트 샘플라스의 첫서브 평균 속도는 약 190~200km/h인데 약 2,700rpm의 회전이 걸리는 것으로 관측되었다. 회전수/속도 비로 따졌을 때 샘플라스가 현역 최고인 것으로 밝혀졌는데 이는 첫 서브 특징들이 최고라는 사실과 무관하지 않을 것이다.

- 스매싱을 칠 때 라켓 면을 지면에 수직으로 유지한 채 최소 8도 정도 라켓 전체가 상방 스윙 되도록 공을 쳐야 한다. 스매싱을 쳐야 하는 공은 일반적으로 높은 곳에서 낙하는 공이기 때문에 대략 지면에 대하여 45도 이상의 각도를 갖고 낙한다. 따라서 상당량의 수직 하방 모멘텀을 가지게 된다. 이것을 상쇄시키기 위해서는 스윙이 상방으로 이루어져야 네트에 걸리지 않는 깊은 공을 칠 수 있게 된다.

생체역학(Biomechanics)

생체역학은 생체와 운동과의 관계를 규명하는 학문으로 테니스 선수가 공을 타격할 때 신체 각 부위를 어떻게 조작하는 것이 최선인지 이론적으로 규명한다.

- 입력 대비 최대 효과를 내는 타법은 kinetic chain에(그림 1 참조) 의한 일련의 과정을 통하여 구현된다. 이것은 비단 테니스뿐 아니라 야구, 골프 등 기구를 이용한 타격 운동에 있어 공통적으로 적용된다. Kinetic Chain을 잘 이용하면 체격이 작고 근육 힘이 약한 사람도 기술적으로 타격 순간 라켓 헤드 속도를 빠르게 가져갈 수 있기 때문에 강한 공을 칠 수 있게 될 뿐 아니라 신체에 무리가 가지 않아 부상 예방에도 매우 유리하게 된다.

- 테니스 타격은 기본적으로 몸의 중심에 밖으로 아래에서 위로 향하는 전반적 모멘텀 벡터를 형성하면서 이루어져야 좋은 타구가 나온다. 공이 네트에 걸리지 않고 깊게 보내기 들어 올려

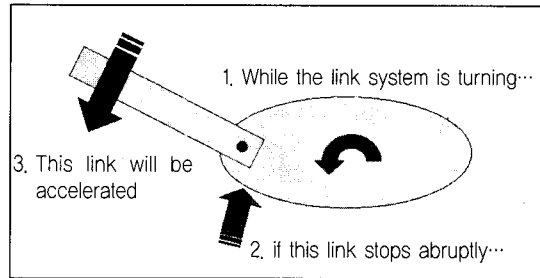


그림 1 kinetic chain의 개념

쳐야 하며 라켓 헤드 속도를 빠르게 하기 위해서는 회전 반경을 키워야 하기 때문에 이러한 결과를 받게 된다.

운동 기능 습득론(Motor Learning)

Motor learning이란 초보자가 새로운 운동 형식을 어떠한 과정을 거쳐 습득하게 되는가를 연구하는 학문으로 비교적 새로운 분야에 속한다. Motor Learning 이론을 테니스에 적용할 때 이미 습득하여 손쉽게 구현할 수 있는 동작과 연관시켜 교습하면 거의 모든 사람들에 있어 매우 효과적인 것으로 밝혀졌다. 또한 한 때 모든 사람들이 생각했던 이른바 'muscle memory' 라는 개념에 대한 논란에도 이 이론이 등장하면서 종지부를 찍는 역할을 하였다.

- 이른바 'muscle memory'라 하여 인간이 습득한 운동 능력은 근육이 그 패턴을 기억한다던 생각은 잘 못된 것으로 밝혀졌으며, 모든 운동에 대한 패턴 기억은 뇌가 한다. 이러한 주장을 뒷받침할 연구 결과는 많이 있다. 따라서 테니스 경기에서도 모든 스트로크 패턴 구현은 전적으로 뇌가 관장한다는 것이 정설이 되었다.

- 테니스 포어핸드 그라운드 스트로크를 가장 손쉽게 배울 수 있는 방법은 라켓 없이 네트에 대하여 옆으로 서서 팔을 약간 굽혀 자연스럽게 뻗친 상태에서 팔 전체를 들어 올리는 연습을 하



는 것이다. 여기에 포어핸드 그립으로 라켓을 정확히 잡은 후 몸 동작과 스텝을 가미하면 완벽한 포어핸드 스트로크를 구현할 수 있게 된다.

• 백핸드는 역시 네트에 대하여 모로 선 다음 손바닥을 땅으로 향하게 마치 손바닥으로 테이블 위를 네트 방향을 향해 닦아나가는 동작을 연습한 뒤, 이스턴 백핸드 그립을 잡고 약간의 몸 동작과 스텝을 가미하면 한 손 백핸드의 기본을 손쉽게 마스터할 수 있다.

• 발리도 역시 라켓 없이 손바닥으로 공을 잡는 연습을 한 뒤 라켓을 잡고 라켓 끈지를 테이블 위에 45도 각도가 되도록 세운 뒤 공을 보낼 방향으로 몸 전체가 나가면서 라켓 끈지를 테이블 위로 미끄러트리듯 수평 운동시키면 된다.

• 서브는 손바닥이 땅을 향하게 한 뒤 상체와 팔을 최대한 느슨하고 부드럽게 유지하면서 전방을 향해 공을 부드럽게 던지는 동작을 연습한다. 이어서 콘티넨탈 그립을 잡고 토스와 스윙을 일치시키는 훈련을 한 다음 라켓을 상방으로 던지듯 부드럽게 스윙한다.

• 스매싱은 기본적인 서브 동작에 외야수가 흠을 향해 송구하듯 전체적으로 스윙이 상방이 되도록 부드러운 스윙을 하면 된다.

의학(Medicine)

의학은 테니스 경기와 관련된 부상이나 치료 및 회복 등에 기여한다. 의학적 연구 결과들은 테니스 경기 중 가장 많이 발생하는 테니스 엘보의 예방과 치료, 어깨 부상 등 발생 원인과 방지책 등에 대해 중요한 단서를 제공한다.

• 스트로크시 손목을 과도하게 사용하면 테니스 엘보의 원인이 된다.

• 서브 동작에서 공을 서브하는 팔의 어깨선과 머리 사이에 토스하고 탑스핀 서브를 구사하면 어깨 탈골의 위험성이 있다.

• 일반적으로 테니스 샷은 장딴지나, 상체 가슴 근육 등 큰 근육을 써서 파워를 내고 섬세한 근육은 스트로크 패턴을 구현하는 데 사용하는 것이 부상 방지 및 스트로크 향상에 좋다.

• 위에서 언급한 바 있는 kinetic chain을 효과적으로 구사하면 타격 시 신체에 무리가 가지 않기 때문에 부상 방지에 큰 도움이 된다.

심리학(Psychology)

테니스에서의 심리학의 역할은 상대방을 자극하는 비신사적 행위나 아비한 전략을 뜻하는 것이 아니고 자기 자신이 스스로 무너지지 않도록 내적으로 강하게 되는 방법에 대하여 알려주는 데 있다. 심리학적 연구 결과에 따르면

• 테니스 경기가 누구에게나 공평하게 적용되는 물리 법칙에 의해 지배된다는 사실을 명확히 인식하고 물리법칙에 순응하는 확률 높은 샷을 구사하면 된다는 마음의 여유를 찾는 것이 경기에 대한 집중력 향상에 도움이 된다.

• 자기의 능력을 심분 발휘하기 위해서 필요한 것은 외부 교란을 차단하는 것이다. 결국 심리적으로 강한 선수는 경기에 대한 집중도가 높은 선수로서 경기 외적인 요소에 방해 받지 않으면서 주어진 장면에서 자기가 보유하고 있는 능력을 최대한 발휘할 수 있는 선수라고 할 수 있다.

• 심리전을 통해서는 자기가 이미 가지고 있는 경기력에 새로운 것을 더 하는 플러스적 효과는 기대할 수 없다. 다만 자기가 가지고 있는 최대 능력을 모두 발휘하지 못하는 마이너스적 효과를 방지할 수 있을 뿐이다.

• 경기력 향상은 구체적인 스트로크 구사 능력 향상을 통해서만 가능하므로 평소 자기 기량을 꾸준히 점검하여 자기 계발과 연습을 게을리하지 않는 것이 가장 중요하다.

뇌형(Brain Type)

뇌형이란 혈액형처럼 인간의 두뇌도 태어날 때부터 유전적으로 특정한 유형을 갖추어 태어나기 때문에 인간의 행동 양식이 그에 따라 다르게 나타난다는 믿음이다. 예를 들어 Andre Agassi 같은 선수는 선천적으로 네트플레이보다는 베이스라인 플레이에 능숙하도록 태어났고 Jimmy Connors 같은 선수는 큰 근육을 써서 동작을 몸 동작이 큰 스윙 양식에 능숙한 반면 John McEnroe 같은 선수는 섬세한 근육 운동에 더 익숙하도록 태어났다는 믿음이다. 현재 새롭게 부각되는 학문 분야로 아직 완성된 단계는 아니지만 이 분야에 대한 연구는 매우 활발한 편이다.

- 인간에게는 약 16가지 정도의 뇌형이 있는 것으로 알려지고 있는데 자기가 어디에 속하는지 판별하고 자기 타입에 맞는 경기 스타일을 개발하는 것이 좋다.
- 앞으로의 연구 결과에 따라 좀더 구체적이고 실용적인 이론이 대두될 것으로 기대된다.

통계학(Statistics)

테니스에서의 통계학은 주로 에러 분석과 관련되어 있다. 에러 분석 결과는 테니스 경기의 평균적인 현상에 대하여 여러가지 유용한 정보를 제공한다.

- 일반 아마추어 경기에서 자기의 득점타와 상대방 실수에 의한 득점의 비율은 약 1:10 정도이고 최정상급 프로 경기에서도 이 비율이 1:3을 넘는 경우가 많지 않다. 이 결과는 테니스 경기에서 득점타를 치기가 얼마나 어려운지를 알려줌과 동시에 자기의 실수를 줄이는 것이 얼마나 중요한지도 알려주고 있어 경기를 어떻게 운영해야 할지에 대한 중요한 단서를 제공한다. 결국 멋진 득점타를 치려고 하기보다는 평범한 실수를 줄이

는 것이 거의 모든 사람에게 있어 승리의 지름길이 된다는 것이다.

- 실수로 실점할 때 약 50%는 네트에 걸려 실점한다. 이 결과도 테니스 경기를 어떻게 해야 하는지에 대한 중요한 단서를 제공한다. 대부분의 사람들이 공을 칠 때 충분한 만큼 들어주지 못한다는 것을 말해주는 것이다. 따라서 테니스 경기에서 네트 위로 공을 높게 들어 올려 보내면 네트에 걸리는 실수를 방지하는 동시에 상대방 베이스라인 깊게 공을 보낼 있게 된다는 이중 효과가 있다. 따라서 테니스는 '기본적으로 들어 올리는 게임이다.' 라고 말할 수 있는 것이다.

- 테니스 경기는 탑스핀 중심으로 하는 것이 좋다. 탑스핀은 코트의 위치에 상관 없이 공격적으로 칠 수 있는 유일한 타법이다. 또한 타격 방법을 표준화하기 쉽기 때문에 구사하는 데 실수가 적게 따른다. 간단히 말해 라켓 면을 지면에 수직으로 유지한 채 아래에서 위로 공을 훑어 치면 탑스핀이 걸린다. '탑스핀이 세계를 제패한다.' 는 말은 이미 옛말이 아니다.

테니스에서의 성공 비결

이상의 이론들을 종합해 보면 훌륭한 테니스 선수들은 간단한 것을 완벽하게 구사하는 사람들 이라고 말할 수 있겠다. 선수에 따라 나름대로 스타일이 있고 장기가 다르긴 했어도 모든 선수들이 공통적으로 가지고 있었던 특징은 '물리 법칙에 순응한 기본기를 완벽하게 마스터하고 있었다' 는 점이다. 몇 가지 예를 들어보자. '70년대 테니스 계를 주름 잡던 비요른 보그, 지미 코너스, 크리스 에버트는 거의 기계와 같은 수준의 안정된 그라운드 스트로크로 세계를 제패하였다. 그들의 경기를 지켜보면 변칙 타구나 변화무쌍한 화려함은 거의 찾아 볼 수 없었다. 지루할 정도로 단순한 스트로크로 상대방을 집요하게 물고



늘어져 끝내 승리를 쟁취하는 스타일이었다. 그들이 주로 사용한 무기는 네트를 높게 통과하여 베이스라인 깊숙이 떨어지는 확률 높은 그라운드 스트로크였던 것이다. '80년대 이반 렌들과 마츠 빌란더도 농도는 조금 달랐어도 같은 색깔의 선수들이었다. 맥켄로 같은 경우는 다르지 않느냐고 반문할 것이다. 물론 그의 게임은 화려하고 변화가 있다는 점에서 다른 선수와 구분되는 점이 있지만 그 역시 기본적으로 안정된 그라운드 스트로크를 갖추고 있었으며 그의 발리는 이 세상 어느 선수의 발리보다 간결하고 물리 법칙에

순응한 샷이었다는 말을 듣는다. 보다 최근의 샘 프라스도 간결하면서도 절제된 스윙 폼에서 나오는 수직운동 위주의 힘찬 그라운드 스트로크와 간결 정확한 발리를 갖추었다. 특히 그의 서브는 우리가 생각했던 이상으로 제1서브부터 스피클 많이 걸어 네트 위로 높게 통과 시켰다는 점은 이미 언급한 바 있다. 결국 테니스는 '물리 법칙에 순응하는 기본기에 대한 완벽한 마스터'라는 명제로 귀착된다고 할 수 있겠다.

ksme

기계용어해설

◇ 음극선관(Cathode Ray Tube : CRT)

전자총에서 전자가 방출되고, 전면유리(panel)에 도포된 형광체까지 편향요크에서 발생하는 자계와 색선별장치라 불리는 색도 마스크에 의해 화상을 구현한다.

◇ 전계방출표시소자(Field Emission Display : FED)

음극판(cathode plate)과 양극판(anode plate)으로 구성되어 있으며, 두 판 사이에 스페이서(spacer)라는 지지대를 두고 고진공 봉착을 하게 된다. 음극판상의 게이트 전극과 캐소드 전극간에 양의 전압을 가하면 그 사이에 놓여 있는 금속의 마이크로팁(microtip : 이하 전자방출원)은 강한 자기장이 형성되고, 양자역학적 터널링효과에 의해 전자가 방출된다. 방출된 전자는 수백 볼트 내지 수천 볼트의 전압이 가해진 양쪽 기판쪽으로 이동되어 양극판에 인쇄된 R G B 3색 형광체와 충돌하여 여기된 형광체가 음극선발광을 하게 된다.

◇ 카본나노튜브형 전계방출표시소자(Carbon nano tube-Field emission Display : CNT-FED)

FED의 전자방출원으로 사용되는 긴 대롱 모양의 우수한 전계방출 특성을 갖는 탄소나노튜브로 1991년에 일본의 이지마에 의해 발견되어 현재 차세대 나노 테크놀로지를 선도하는 가장 중요한 재료 중의 하나로 합성 및 응용에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다

◇ 플라즈마 디스플레이 패널(Plasma Display Panel : PDP)

상·하판 사이의 공간 내에 채워진 가스(Ne-He, Xe-He)에서 방출된 자외선이 형광체와 부딪혀 고유의 가시 광선을 방출하는 원리로 화상을 구현하는 평판 디스플레이(Flat Panel Display)의 한 종류이다.