

손가락 길이 비율의 심리학적 의미: 태내 테스토스테론의 지표로서의 2D:4D*

심 경 옥

전 우 영†

충남대학교 심리학과

성호르몬은 출생 전 태아의 뇌 발달에 관여하여 그 구조나 기능을 조직화하는 효과가 있고, 출생 후 행동에 영구적으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한 초기 뇌 발달에 영향을 주는 바로 그 호르몬이 손가락 길이 패턴에도 영향을 미친다. 2D:4D 비율(둘째손가락과 넷째손가락 길이의 비율, second-to-fourth digit ratio)이 낮을수록, 즉 둘째손가락이 넷째손가락에 비해 짧을수록 태아가 에스트로겐에 비해 상대적으로 높은 테스토스테론 노출되었다는 것을 나타낸다. 또한 2D:4D 비율은 성적이형 특질로서 평균적으로 남성이 여성보다 그 비율이 더 낮다. 본 논문의 연구 목적은 2D:4D 비율이 태내 테스토스테론 수준을 나타내는 간접 생물지표로 사용될 수 있다는 생리적 증거를 제시하고, 이를 뒷받침 하는 여러 연구들을 살펴보는 것이다. 또한 본 논문은 2D:4D 비율과 성호르몬이 매개된 특질들(정신적, 신체적, 그리고 행동적 특질)과의 관계성을 살펴보았다. 한 성 내에서 비전형적인 태내 테스토스테론 수준은 비전형적인 행동 패턴을 발달시킬 수 있고, 태아의 발달적 항상성을 저해하는 요인으로 작용하여 특정 질병에 취약하게 하는 요인이 될 수도 있다는 것을 보여 주었다. 2D:4D 비율은 신체 체형과 크기, 악력, 체력과의 관계가 있었다. 따라서 2D:4D는 인간을 대상으로 여러 다양한 행동에 대한 태내 테스토스테론의 효과를 연구하기에 유용한 간접 생물학적 지표라고 할 수 있다.

주요어 : 2D:4D, 태내 테스토스테론, 대뇌 편측성, 신체적 특징, 사회적 행동

* 이 연구는 2014년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

† 교신저자: 전우영, 충남대학교 심리학과, 대전광역시 유성구 대학로 99, E-mail: wooyoung@cnu.ac.kr

프로 축구선수들과 일반인들의 신체에는 눈에 띄는 차이가 있다. 프로 축구선수들은 일반인들보다 더 튼튼한 신체, 특히 잘 발달된 하체를 가지고 있을 가능성이 높다. 그런데 최근 연구는 프로 축구선수들과 일반인의 신체적 차이가 하체에서만 나타나는 게 아니라는 것을 보고 하였다. 흥미롭게도 프로 축구 선수들과 일반인들은 손가락 길이에 차이가 있는 것으로 나타났다. 보다 구체적으로, 둘째 손가락 길이와 넷째손가락 길이의 비율에 차이가 있었다. 영국의 프로 축구리그에 소속되어 있는 선수 305명과 일반인 533명의 손가락 길이를 비교한 결과, 프로 축구선수들이 일반인들에 비해 둘째손가락 길이가 넷째손가락 길이에 비해 통계적으로 유의미하게 더 짧은 것으로 나타났다(Manning & Taylor, 2001). 다르게 표현하면, 프로 축구선수들이 일반인들보다 넷째손가락 길이가 둘째손가락 길이에 비해 더 긴 것으로 나타난 것이다.

영국의 프로 축구리그는 선수들의 기량에 따라 4단계로 나뉜다. 1부 리그라고 할 수 있는 프리미어 리그, 2부 리그인 챔피언십, 그 아래로 3, 4부 리그가 있다. 흥미로운 것은 프로 축구선수들 중에서도 그들이 속한 리그의 순위에 따라 선수들의 손가락 길이 비율에 차이가 난 것이다. 상위리그에 속한 선수들일수록 둘째손가락 길이에 비해 넷째손가락 길이가 긴 것으로 나타났다(Manning & Taylor, 2001). 또한 프로 축구팀 선수들 중 국가 대표 선수들이, 이들 국가 대표 선수들 중에서는 국제적인 팀에 소속되어 있는 선수들이, 그리고 국제적인 팀에 소속된 선수들 중에서는 국제 경기에 참여하는 횟수가 더 많은 선수들의 넷째손가락 길이가 둘째 보다 더 긴 것으로 나타났다(Manning & Taylor, 2001). 일반인들 중

에서도 운동을 하지 않는 사람에 비해 자신이 선호하는 스포츠에 참여율이 높은 남성들의 넷째손가락 길이가 둘째 보다 더 긴 것으로 나타났다(Manning & Taylor, 2001). 프로 펜싱, 스키, 그리고 럭비 등에서도 비슷한 결과가 나타났다(Bennett, Manning, Cook, & Kilduff, 2010; Bescos et al., 2009; Voracek, Reimer, Ertl, & Dressler, 2006). 그렇다면 손가락 길이와 운동능력 간에는 어떤 관련성이 있는 것일까?

둘째손가락(second digit, 2D)과 넷째손가락(fourth digit, 4D)의 길이 비율(second-to-fourth digit ratio, 이하 2D:4D)의 남녀 성차에 대한 연구가 처음 발표된 것은 19세기 후반이었다(Ecker, 1875). 이 후 한 세기가 넘도록 손가락 비율에 대한 연구는 크게 주목을 끌지 못했다(2D:4D에 대한 연구 변천사를 살펴보려면 Peters, Mackenzie, & Bryden, 2002 참고). 하지만 1998년에 발표된 Manning과 동료들의 논문은 2D:4D에 대한 선행 연구들이 재평가되고, 활발한 연구가 시작되게 하는 계기가 되었다(Manning, 2011; Voracek & Loibl, 2009). 이 후 2D:4D에 관한 연구는 1998년부터 2007년까지 매해 1편에서 51편으로 증가하였으며, 2008년에서 2010년 사이에는 매해 평균적으로 약 60편이 출판되고 있다(Manning, 2011).

Manning과 동료들(1998)에 의하면, 2D:4D 비율은 태아가 어머니의 배 속에 있을 때 노출된 성호르몬(sex hormone)의 상대적인 양에 의해 크게 영향 받는다고 한다. 구체적으로, 2D:4D 비율은 태아가 모체 내에서 노출된 주요 남성화 호르몬인 테스토스테론(testosterone)과 주요 여성화 호르몬인 에스트로젠(estrogen)의 상대적인 수준에 의해 결정된다는 것이다. 2D:4D 비율을 측정하는 방법은 그림 1에 제시했다(Manning, 2002). 2D:4D 비율이 낮을수

록, 즉 둘째손가락이 넷째손가락에 비해 짧을수록 태아가 에스트로겐에 비해 상대적으로 높은 수준의 테스토스테론에 노출되었다는 것을 나타낸다(Manning, Scutt, Wilson, & Lewis-Jones, 1998). 따라서 테스토스테론 수준과 비례하는 운동능력(Crewther, Cook, Cardinale, Weatherby, & Lowe, 2011)이 태내 테스토스테론 수준에 의해 결정되는 손가락 길이의 비율과 밀접한 관련성을 갖게 되는 것이다.

일반적으로 남성은 둘째손가락 길이가 넷째에 비해 상대적으로 짧고($2D:4D < 1$), 여성은 둘째손가락 길이가 넷째와 같거나 더 길다($2D:4D \geq 1$). 한 종 내에서 이런 남녀 간의 분명한 차이를 나타내는 신체적 또는 행동적 특징을 성적이형 특질(sexual dimorphic trait)이라 한다. 2D:4D 비율의 이런 성적이형 특질은 오른손이 왼손에 비해 더 크게 나는데, 그 이유는 오른손이 왼손보다 태내 테스토스테론 노출에 더 민감하게 반응하기 때문으로 추정된다(Manning, Churchill, & Peters, 2007). 하지만 왜 더 민감한지에 대한 구체적인 생물학적 원인은 아직 밝혀지지 않았다. 또한 2D:4D 비율은 인종적, 지리학적 변이가 크다(Manning, Barley et al., 2000; Manning, Churchill, & Peters, 2007). 현재까지 알려진 바로는 인종이나 국가에 따라 2D:4D 비율의 평균값이 낮게는 0.93(핀란드와 자메이카 남성)에서 높게는 1.00(폴란드 여성) 정도이고, 표준편차는 0.05에서 1.0 정도가 된다(Manning, Barley et al., 2000; Manning et al., 2007). 또한 한 국가 내에서도 2D:4D 비율은 백인이 다른 인종들에 비해 상대적으로 높고, 흑인들이 가장 낮다. 이런 손가락 길이 패턴은 인간 외에 여러 다른 동물 종(예, 쥐, 원숭이, 고릴라 등)에서도 발견된다

(Nelson & Shultz, 2010; Roney et al., 2004; Talarovičová, Kršková, & Blažeková, 2009).

2D:4D 비율이 운동능력과 같은 특정 행동과 관련된 이유는 태내에서 노출된 테스토스테론이 초기 뇌 발달에 중요한 역할을 하고, 뇌 발달의 차이는, 다시, 출생 후 행동에 영향을 미치기 때문이다. 즉, 테스토스테론은 출생 전 태아의 뇌 발달에 관여하여 그 구조나 기능을 남성형 또는 여성형으로 조직화하는 효과(organizational effect)가 있기 때문에 출생 후 행동에 영구적으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Arnold & Breedlove, 1985; Breedlove, 1994; Chapman et al., 2006; Josephs, Sellers, Newman, & Mehta, 2006; Lombardo et al., 2012; Mazur & Booth, 1998).

동물 연구에서는 테스토스테론을 직접 주사하거나, 거세를 통해서 호르몬의 양을 조절하거나, 또는 유전적 조작으로 테스토스테론의 효과를 조절하는 것이 가능하다. 따라서 동물 연구에서는 테스토스테론이 뇌 발달과 행동(특히, 사회적 상황에서 직접적인 신체적 공격성과 성행동)에 인과적으로 영향을 미친다는 것이 밝혀져 있다(Arnold & Breedlove, 1985; Breedlove, 1994). 하지만 사람의 경우 윤리적 문제로 인해 태아의 호르몬 수준을 조작하여 출생 후 행동을 관찰하는 것은 불가능하다. 이런 실험적인 한계로 인해 연구자들이 관심을 갖고 있는 다양한 행동에 대한 태내 테스토스테론(prenatal testosterone)의 효과를 연구하기가 쉽지 않다. 이에 대한 대안으로 많은 연구들은 태내 테스토스테론 수준을 반영하는 손가락길이 패턴을 이용해 간접적으로 행동 변인들과의 관계를 추정하는 연구를 수행하기 시작했다. 최근에는 2D:4D비율은 태내 테스토스테론 수준을 나타내는 신뢰할만한 간접 생

물지표(a biomarker of sex hormone levels)로 다양한 분야의 연구에 광범위하게 사용되고 있다 (Manning, 2002). 또한 2D:4D 비율은 연구 참여자에게 상처나 통증을 주지 않고, 쉽고 간단한 방법으로 태아가 모체 내에서 노출된 테스토스테론의 수준을 측정할 수 있다는 점에서 매우 유용한 측정도구라고 할 수 있다.

본 논문은 먼저, 2D:4D 비율이 태내 테스토스테론의 상대적 수준을 반영한다는 생리적 증거들을 살펴볼 것이다. 둘째, 2D:4D 비율에 대한 여러 분야의 연구들을 개괄적으로 살펴볼 것이다: (1) 대뇌 편측성, (2) 발달 향상성, 그리고 (3) 신체적 특징. 셋째, 사회적 행동과 2D:4D 관계에 대한 연구들을 살펴볼 것이다: (1) 공격성과 위험감수 그리고 (2) 사회적 발달.



그림 1. 오른손바닥 2D:4D.

손바닥을 위로 향하게 한 다음 각 손가락의 가장 아래쪽 마디 주름으로부터 손가락 끝부분까지의 길이를 0.01mm 정확도로 측정한다. 측정오차를 줄이기 위해 각 손가락의 길이는 두 번 반복하여 측정한 후 평균값을 사용한다. 손바닥은 스캔하거나 복사, 또는 0.01mm 정확도의 자로 직접 측정 가능하다.

생리적 증거

테스토스테론의 양

여러 직간접적 증거들은 2D:4D 비율이 태내 테스토스테론 수준을 반영하는 타당한 지표로 사용될 수 있다는 것을 보여준다. Lutchmaya와 그의 동료들(2004)은 2세 아동의 2D:4D 비율이 양수로부터 측정된 테스토스테론과 에스트로겐의 비율(testosterone/estrogen ratio)과 통계적으로 유의미한 부적 상관이 있다는 것을 보여 주었다. 다른 연구에서는 상대적으로 높은 수준의 태내 테스토스테론에 노출되었던 사람들의 2D:4D 비율과 일반인들의 비율을 비교하여 그 차이를 살펴보았다. 먼저, 선천성부신과형성(congenital adrenal hyperplasia, CAH)은 유전적 결함으로 부신선에서 안드로젠(androgen, 테스토스테론을 포함하는 포괄적인 남성 호르몬을 지칭)을 초과 생산하도록 하여 태아가 높은 수준의 테스토스테론에 노출되게 하는 질병이다(Berenbaum & Resnick, 1997). 선천성부신과형성으로 진단 받은 여아들과 여성들이 일반 여아들과 여성들에 비해 2D:4D 비율이 더 낮았으며, 일반 남성과 비슷한 손가락 길이 패턴을 보였다 (Brown, Hines, Fane, & Breedlove, 2002; Buck, Williams, Hughes, & Acerini, 2003; Okten, Kalyoncu, & Yariş, 2002). 마찬가지로, 선천성부신과형성으로 진단 받은 남성들의 2D:4D 비율은 일반 남성들의 비율보다 더 낮았다 (Brown et al., 2002; Okten et al., 2002). 다음으로, 남녀 이성 쌍둥이 중 여아의 2D:4D 비율이 일반 여성들이나 동성 여성 쌍둥이들에 비해 낮게 나타났다(van Anders, Vernon, & Wilbur, 2006). 그 이유는 모체 내에서 남녀 이

성 쌍둥이 중 남아로부터 합성된 테스토스테론이 여아에게로 전이되어 여아들이 상대적으로 높은 테스토스테론에 노출되기 때문으로 보인다. 이들 결과는 출생 전 태아가 노출되었던 테스토스테론 수준이 손가락 길이 비율에 영향을 미친다는 것을 보여 주는 것이다.

동물 연구들은 태내 테스토스테론 수준과 2D:4D 비율 간의 인과적 관계성에 대한 실험적 증거를 제시하였다(Feliciano, Niemitz, & Vogan, 2011; Zheng & Cohn, 2011). 쥐를 대상으로 하는 2D:4D 연구에서는 쥐의 뒷다리 발가락 길이를 측정한다. 그 이유는 뒷다리 발가락 길이 비율(수컷의 2D:4D 비율 = 0.984; 암컷의 2D:4D 비율 = 1.006)이 사람의 손가락 길이 비율과 가장 유사하고 사람과 마찬가지로 분명한 성차를 나타내기 때문이다(Zheng & Cohn, 2011). 일부 연구들은 임신 중인 어미 쥐의 테스토스테론과 에스트로겐 수준을 조작하여 출생 후 자손 쥐의 2D:4D 비율을 처치를 받지 않은 통제그룹에 속한 자손 쥐의 2D:4D 비율과 비교하였다(Talarovičová et al., 2009; Zheng & Cohn, 2011). 그 결과 임신 중인 어미 쥐에게 테스토스테론을 주입하여 그 수준을 높였을 때, 자손 쥐들의 2D:4D 비율은 통제 그룹에 속한 자손 쥐들에 비해 낮아졌다. 반대로 어미 쥐에게 에스트로겐을 주입하였을 때는 자손 쥐의 2D:4D 비율은 통제 그룹에 비해 높아지는 것으로 나타났다.

테스토스테론에 대한 민감성(Sensitivity to testosterone)

테스토스테론의 반응성은 그 양 뿐만 아니라 안드로젠 수용체(androgen receptor)의 민감성에 의해서도 매개된다(Breedlove, 2010;

Chamberlain, Driver, & Miesfeld, 1994). 이에 대한 첫 번째 증거는 분자생물학 연구에서 찾아볼 수 있다. 안드로젠 수용체의 활동은 유전자 엑손 1(exon 1) 내에 있는 CAG 염기서열의 사슬 길이에 의해 조절되는데 이 염기 사슬의 길이가 짧을수록 테스토스테론에 대한 민감도가 높다는 것을 의미한다. 연구들은 CAG 사슬 길이가 짧은 안드로젠 수용체를 보유한 남성들이 긴 안드로젠 수용체를 보유한 남성들에 비해 평균적으로 더 낮은 2D:4D 비율을 가진다는 것을 보여 주었다(Butovskaya et al., 2012; Manning, Bundred, Newton, & Flanagan, 2003). 두 번째 증거는 안드로젠 둔감성 증후군(Androgen insensitivity syndrome)으로 진단받은 남성들에게서 찾아볼 수 있다. 안드로젠 둔감성 증후군은 정상적인 양의 안드로젠은 생산되지만 유전적 변이로 인해 활동성인 안드로젠 수용체의 수가 적어 안드로젠이 제 역할을 하지 못하는 것을 말한다. 이로 인해 안드로젠 둔감성 증후군으로 진단받은 남성들은 유전적으로는 남성(XY) 염색체를 가지고 있으나 외부 생식기는 여성과 비슷한 모습을 하고 있다. 그래서 이들은 안드로젠 둔감성 증후군 여성으로 불리기도 한다. 이런 신체적 특징뿐만 아니라 이들의 2D:4D 비율은 전형적인 여성의 비율과 비슷하다(Berenbaum, Bryk, Nowak, Quigley, & Moffat, 2009).

동물 연구에서는 출생 전 쥐의 안드로젠과 에스트로겐 수용체를 유전적으로 조작하여 출생 후 2D:4D 비율에 어떤 변화가 있는지를 관찰하였다. Zheng와 Cohn(2011)은 발가락으로 성장하는 원시세포에 안드로젠과 에스트로젠 수용체가 분포되어 있는지를 살펴보고, 이들 수용체의 불활성화와 수용체 길항제(antagonists)가 2D:4D 비율을 어떻게 변화시

키는지를 살펴보았다. 그 결과, 발가락으로 성장하는 원시세포에는 안드로겐과 에스트로겐 수용체가 풍부하게 분포되어 있는 것이 관찰되었다. 특히 둘째에 비해 넷째 발가락에 현저히 더 많은 수용체가 분포되어 있었다. 또한 안드로겐과 에스트로겐 수용체의 활성화에 의해 연골세포의 증식이 다르게 조절된다는 것을 관찰하였다. 구체적으로 안드로겐 수용체의 활성화는 넷째 발가락의 연골세포의 증식을 증가시키는 반면, 에스트로겐 수용체의 활성화는 넷째 발가락의 연골세포의 증식을 감소시키는 것으로 나타났다. 실험적으로 안드로겐 수용체의 길항제인 플루타마이드(flutamide)를 쥐에게 투여 하여 안드로겐 수용체의 활성을 낮추었을 때, 넷째 발가락의 연골세포 증식이 감소하였고, 그 결과 2D:4D 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 디하이드로테스토스테론(DHT) 처리로 안드로겐 수용체의 활성을 높였을 때, 넷째 발가락의 연골 세포 증식이 크게 일어났으며, 그 결과 2D:4D 비율이 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 에스트로겐의 길항제인 풀베스트란트(fulvestrant)의 처리로 에스트로겐 수용체의 활성화가 낮아진 쥐의 넷째 발가락에서는 연골 세포증식이 크게 증가하였으며, 출생 후 이들의 2D:4D 비율은 낮은 것으로 나타났다. 실제 사람의 경우에도 안드로겐과 에스트로겐 수용체는 남녀 태아의 연골조직에 있는 모든 종류의 세포에서 발견된다(Ben-Hur et al., 1997).

대뇌 편측성(Cerebral laterality)의 간접 지표

초기 뇌 발달에 영향을 미치는 성호르몬이

손가락 길이 성장에도 영향을 주기 때문에, 손가락 길이 비율은 뇌의 구조적, 기능적 편측성의 간접적인 지표로 사용될 수 있다(Nicholls, Orr, Yates, & Loftus, 2008). Geschwind와 Galaburda(1985)에 의하면, 태내 테스토스테론은 좌뇌의 발달을 지연시키고, 상대적으로 우뇌 발달을 촉진시켜 좌뇌와 우뇌의 비대칭성을 증가시킨다. 이런 구조적 편측성이 인지 능력과 같은 기능적 편측성을 초래한다는 것이다. 이런 사실을 뒷받침 하는 증거는 뇌와 손가락 길이 발달 간의 시기적 중첩, 그리고 2D:4D 비율과 직접적인 뇌구조 그리고 대뇌 편측성을 반영하는 특질들과의 관계에서 찾아볼 수 있다.

뇌와 손가락 길이 발달 간의 시기적 중첩

태아의 뇌 발달과 손가락길이 패턴이 형성되는 기간은 시기적으로 서로 겹친다. 우선 태내 테스토스테론의 영향을 받는 손가락 길이 성장과 뇌 발달의 성분화(sexual differentiation)가 비슷한 시기에 이루어진다는 점에 주목할 필요가 있다. 태내 테스토스테론은 임신 3개월 말에 절정에 달하고, 뇌와 여러 다른 기관들을 영구적으로 조직화하는 효과가 있다(Manning, 2011). 초기 뇌 발달 과정 중 신경세포의 증식(임신 5-18주)과 이주(임신 8-15주)는 대략 임신 중기에 일어나며, 이 기간 동안 많은 수의 신경세포들이 형성되고 뇌의 최종 표적지로 이동한다(Keshavan & Hogarty, 1999). 동시에 손가락 길이 패턴은 임신 약 14주를 전후로 해서 결정되고, 이후 길이는 변화가 있더라도 길이 비율에는 변화가 거의 없다(Manning et al., 1998; McIntyre, Ellison, Lieberman, Demerath, & Towne, 2005). 이

린 사실은 유아, 아동, 성인의 손가락 길이의 연속적 변화를 조사한 종단적 연구 결과에 의해서 증명 되었다(McIntyre et al., 2005). 또한 2D:4D 비율은 출생 후 테스토스테론의 변동이나 성인기의 순환 테스토스테론(circulating testosterone, 혈액을 통해 이동하여 신체의 여러 기관에 영향을 미침, 기저 테스토스테론이라고도 함)의 수준에 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다(Manning et al., 1998).

뇌의 구조적 편측성과의 관계

2D:4D 비율과 뇌 구조물과의 관계도 보고되었다. Kallai 등(2005)은 일반 여성들을 대상으로 자기 공명 영상법을 이용하여 좌뇌와 우뇌의 해마의 크기를 서로 비교하고, 해마의 좌우 크기의 차이와 2D:4D 비율과의 연관성을 살펴보았다. 그 결과 전체적인 해마의 크기는 우뇌가 좌뇌 보다 더 큰 것으로 나타났다. 하지만 해마의 소구역들(hippocampal sub-region)의 좌우 크기에 대한 결과는 다르게 나타났으며, 그 차이가 2D:4D 비율과 관계가 있었다. 해마의 꼬리 부분 용량은 우뇌가 좌뇌 보다 더 컸으며, 이런 우뇌와 좌뇌의 크기의 차이가 2D:4D 비율과 관계가 있었다. 즉 2D:4D 비율이 낮은 여성들이 높은 여성들에 비해 해마 꼬리 부분의 크기가 우뇌보다 좌뇌가 더 큰 것으로 나타났다. 하지만, 좌우 차이가 없는 것으로 나타난 해마의 중간 부위의 크기는 2D:4D 비율이 높은 여성들이 낮은 여성들에 비해 우뇌가 좌뇌보다 더 큰 것으로 나타났다. 이 결과는 태내 테스토스테론 수준이 해마의 구조적 편측성에 주요한 역할을 한다는 것을 나타낸다.

대뇌 편측성을 반영하는 특질들과의 관계

손잡이와 인지 능력은 인간의 대뇌 편측성을 반영하는 가장 두드러진 현상 중의 하나이다(Geschwind & Galburda, 1985; Nicholls et al., 2008). 평균적으로 남성이 여성에 비해 왼손잡이가 더 많다(Raymond, Pontier, Dufour, & Moller, 1996). 그리고 환경적 요인(예, 교육의 기회)을 통제한 후 인지능력에서의 남녀 차는 그리 크지 않다는 주장이 있는데도 불구하고, 공간능력과 언어능력은 분명한 남녀 차이를 보이는 인지 능력 중 하나이다(Gur et al., 2012; Weber, Skirbekk, Freund, & Herlitz, 2014). 즉 남성이 여성에 비해 평균적으로 우뇌 우성인 공간능력은 우세한 반면, 여성이 남성에 비해 평균적으로 좌뇌 우성인 언어능력은 더 뛰어나다(Gur et al., 2012; Logan & Johnston, 2010; Voyer, Voyer & Bryden, 1995). 이런 남녀 차이는 태내 테스토스테론의 영향을 시사한다. 대뇌 편측성 가설에 의하면, 높은 수준의 태내 테스토스테론은 좌뇌 발달의 지체를 초래하고, 그 결과 상대적으로 우뇌의 기능을 더 우수하게 한다(Geschwind & Galburda, 1985). 이로 인해 상대적으로 높은 태내 테스토스테론에 노출되는 남성의 경우, 평균적으로 좌뇌 편향된 인지능력인 언어능력은 저조한 반면, 상대적으로 우뇌 편향된 인지 능력인 공간능력은 우수하다는 것이다. 실제로, 뇌의 우측 반구가 우성인 사람이 왼손잡이가 더 많다(Raymond et al., 1996). 또한, 왼손잡이와 양손잡이에 비해, 오른손잡이들의 좌측두엽의 언어 영역(예, 측두평면 planum temporale)이 우뇌에 비해 더 발달되어 있다(Foundas, Leonard, & Heilman, 1995).

손잡이(Handedness)

대뇌 편측성을 반영하는 손잡이가 손가락 길이 패턴과 관계가 있는 것으로 나타났다. 2D:4D 비율과 손잡이와의 관계성을 살펴본 연구에서는 왼손잡이 남성들이 오른손잡이 남성들에 비해 오른손 2D:4D 비율이 더 낮은 것으로 나타났다(Sim, 2013). 다른 연구에서는 2D:4D 비율이 낮은 남성들이 왼손 수행 능력이 더 뛰어난 것으로 나타났다(Fink, Manning, Neave, & Tan, 2004; Manning, Trivers, Thornhill, & Singh, 2000). 또 다른 한 연구는 인터넷을 통해 대량의 표본(170,000명의 남녀)을 대상으로 글을 쓸 때 주로 사용하는 손과 2D:4D 비율과의 관계를 살펴보았다(Manning & Peters, 2009). 그 결과 왼손 우성인 사람들이 오른손 우성인 사람들에 비해 2D:4D 비율이 더 낮은 것으로 나타났다. 또 다른 연구는 상대적으로 높은 태내 테스토스테론에 노출된 선천성부신과형성 여성들이 남성화되지 않은 여성들에 비해 왼손잡이가 더 많다는 것을 발견 하였다(Kelso, Nicholls, Warne, & Zacharin, 2000).

인지능력(Cognitive ability)

대뇌 편측성의 지표인 인지능력과 손가락 비율도 관계가 있는 것으로 나타났다. 일반 여성들을 대상으로 한 연구에서는 2D:4D 비율이 낮은 여성들이 높은 여성들에 비해 남성 편향된(male-biased) 인지능력을 보이는 것으로 나타났다. 예를 들어, 남성 우성인 삼차원 심적 회전(mental rotation)과 공간 탐색(spatial navigation) 과제에서 2D:4D 비율이 낮은 여성들이 높은 여성들에 비해 더 우수한 수행능력을 보였다(Csatho et al., 2003; Kempel et al., 2005). 또한 일반 여성들과 높은 수준의 태내 테스토스테론에 노출된 선천성부신과형성 여

성들을 비교한 연구에서도 동일한 결과가 발견되었다. 선천성부신과형성 여성들이 일반 여성들에 비해 공간능력 테스트와 수행 인지능력(performance IQ) 테스트에서 높은 점수를 받았다. 반대로, 이들은 평균적으로 여성 우성인 언어 능력 특히 언어 유창성(verbal fluency) 테스트에서는 낮은 점수를 받았다(Helleday, Bartfai, Ritzén, & Forsman, 1994; Kelso et al., 2000; Manning, 2002; Nelson, 2005; Okten et al., 2002; Puts, McDaniel, Jordan, & Breedlove, 2008).

발달 항상성(Developmental homeostasis)의 간접 지표

동일한 성별 내에서 비전형적으로 높거나 낮은 태내 테스토스테론 수준은 태아의 발달적 항상성을 저해하는 요인이 될 수도 있다(Geschwind & Galaburda, 1985; Manikkam et al., 2004; Moller & Swaddle, 1997; Padmanabhan, Manikkam, Recabarren, & Foster, 2006; Palmer & Strobeck, 1986; Parson, 1990; Thornhill & Gangestad, 1993; Van Valen, 1962). 즉 태아의 신경발달 과정 중 일어나는 비전형적인 성호르몬 수준이 뇌의 구조와 기능 또는 비노생식계를 비전형적으로 발달시키고, 이런 비전형적인 발달이 다시, 출생 후 정신적 또는 신체적 장애에 취약하게 만들 수도 있다는 것이다(Geschwind & Galaburda, 1985; Grimshaw, Bryden, & Finegan, 1995; Kelley, 1993; Wisniewski, 1998). 이를 뒷받침하는 증거로 정신적, 신체적 질병과 손가락 길이 비율과의 관계에 대한 연구들을 살펴볼 것이다.

정신적 행동 장애

자폐증과 주의력 결핍 장애

자폐증과 주의력 결핍 장애의 발생 비율은 여아에 비해 남아에서 높게 나타난다(Auyeung, Taylor, Hackett, & Baron-Cohen, 2010; Gaub & Carlson, 1997). 만약 남아들이 여아에 비해 이들 장애에 취약한 원인이 태내 테스토스테론 때문이라면, 이들 장애가 있는 아동들이 일반 정상 아동들에 비해 더 낮은 2D:4D 비율을 보여야 한다. 그 증거로 몇몇 연구들은 자폐 증 아동 집단과 정상 아동 집단의 2D:4D 비율을 비교 하였다. 그 결과, 자폐증 아동 집단이 정상 아동들에 비해 평균적으로 더 낮은 2D:4D 비율을 가지는 것으로 나타났다(Manning, Baron-Cohen, Wheelwright, & Sanders, 2001; Milne et al., 2006). 실제로 한 연구는 양수로부터 측정된 태아기의 테스토스테론 수준과 아동들의 자폐증 특질과의 관계를 살펴보았다(Auyeung et al., 2010). 그 결과, 태내 테스토스테론 수준이 높은 아동이 낮은 아동에 비해 자폐증 특질 점수가 더 높았다. 다른 한 연구는 여러 가지 정신 질환을 앓고 있는 아동들을 대상으로 2D:4D 비율과 자폐증 징후 간의 상관관계를 살펴보았다. 그 결과 2D:4D 비율이 낮은 아동들이 높은 아동들에 비해 자폐증 징후를 더 많이 보이는 것으로 나타났다(De Bruin, De Nijs, Verheij, Verhagen, & Ferdinand, 2009). 또 다른 한 연구는 일반 아동들을 대상으로 2D:4D 비율이 낮은 집단과 높은 집단의 자폐증 발생 위험률(risk ratio)을 계산하였다. 그 결과 2D:4D 비율이 낮은 집단의 아동들이 높은 집단의 아동들에 비해 자폐증 발생 위험률이 더 높은 것으로 나타났다(Noipayak, 2009).

자폐증과 마찬가지로, 주의력 결핍 장애 남아들이 통제 집단 남아들에 비해 평균적으로

2D:4D 비율이 더 낮은 것으로 나타났다(Martel, Gobrogge, Breedlove, & Nigg, 2008; McFadden, Westhafer, Pasanen, Carlson, & Tucker, 2005). 또한 여자 대학생을 대상으로 한 연구에서도 비슷한 결과가 보고되었다. 즉 남성화된 손가락 길이 비율을 가진 여성들이 여성화된 손가락 비율을 가진 여성들에 비해 주의력 결핍 과잉 행동장애(attention deficit-hyperactivity disorder, ADHD)의 징후를 더 많이 보이는 것으로 나타났다(Stevenson et al., 2007).

우울 장애와 섭식 장애

우울 장애와 섭식 장애의 발생 위험률은 남성에 비해 여성이 더 높다(Fairburn & Harrison, 2003; Weissman & Klerman, 1977). 그렇다면, 이들 장애로 진단 받은 사람들은 일반인들에 비해 보다 더 여성화된 손가락 길이 비율을 보일 가능성이 높다. 우울증에 관한 연구에서는 여성적인 손가락 길이 패턴을 보이는 남성들이 남성적인 손가락 패턴을 보이는 남성들에 비해 우울증 점수가 더 높은 것으로 나타났다(Martin, Manning, & Dowrick, 1999; Bailey & Hurd, 2005b). 섭식 장애에 관한 연구에서도 2D:4D 비율과 섭식 장애(eating disorder) 간에 정적 상관이 있는 것으로 나타났다(Klump et al., 2006; Smith, Hawkeswood, & Joiner, 2010).

신체적 질병

남성의 전립선암과 여성의 유방암의 원인 중 하나는 성호르몬의 수준이다(Gann, Hennekens, Ma, Longcope, & Stampfer, 1996; Hankinson et al., 1998; Trichopoulos, 1990). 남성의 경우는 높은 테스토스테론 수준이, 여성의 경우는 높은 에스트로겐 수준이 이들 질병의

발생 위험률을 높이는 것으로 알려져 있다. 최근 연구들은 2D:4D 비율이 높은 집단과 낮은 집단의 전립선암과 유방암의 발생 위험률(risk ratio)을 조사 하였다. 결과, 2D:4D 비율이 낮은 집단의 남성들이 높은 집단의 남성들에 비해 전립선암의 발생 위험률이 더 높은 것으로 나타났다(Jung, Kim, Yoon, & Kim, 2011; Rahman et al., 2010). 또한 전립선암 환자들 중 2D:4D 비율이 낮은 환자들에 비해 더 젊은 나이에 전립선암으로 진단 받았다(Rahman et al., 2010). 여성의 경우, 왼손 2D:4D 비율이 높아질수록 유방암 발생 위험률이 증가하였다(Muller et al., 2012). 그리고 유방암 집단 중 2D:4D 비율이 높은 환자들에 비해 더 젊은 나이에 유방암으로 진단 받았다(Manning & Leinster, 2001).

신체적 특징

2D:4D 비율은 출생 후 행동뿐만 아니라 건강과 유전적 질을 신호하는 다른 신체적 지표들(예, 신체 체형과 크기, 악력, 체력)과도 관계가 있다. 남녀 차이를 보이는 신체 특징들은 테스토스테론과 에스트로겐의 상대적 수준을 반영한다(Bjornorp, 1987; Singh, 1993). 보다 구체적으로, 테스토스테론은 엉덩이와 허벅지 부근에 지방이 축적되는 것을 막고, 허리 부근과 상체에 지방이 집중되는 것을 촉진한다. 반대로, 에스트로겐은 허리 부근의 지방축적을 억제하고 엉덩이와 허벅지 부위의 지방 축적을 촉진시킨다. 또한 테스토스테론 수준이 높을수록 상체의 골격이 커지고 근육이 발달된다(Bhasin, Woodhouse, & Storer, 2001; Crewther et al., 2011; Kasperk, Wakley, Hierl, &

Ziegler, 1997). 따라서 엉덩이 둘레에 비해 허리둘레가 작을수록 보다 여성적인 몸매이고, 넓은 어깨와 좁은 엉덩이, 즉 역삼각형 몸매가 더 남성적인 몸매를 나타낸다.

체형(Body shape)

Sim(2013)은 2D:4D 비율이 신체체형을 예측하는지 살펴보았다. 그 결과 여성의 경우 오른손 2D:4D 비율이 높을수록 더 여성적인 몸매를 가진 것으로 나타났다. 이에 반해, 남성의 경우는 신체 체형에 대한 오른손 2D:4D 비율의 예측력은 변동비대칭(fluctuating asymmetry, FA)에 따라 다르게 나타났다. 변동비대칭은 신체의 각 부위들이 완벽한 좌우 대칭으로부터 얼마나 벗어나 있는지의 정도를 말한다(Van Valen, 1962). 그 크기가 작을수록 발달과정 중 개인이 유전적 그리고 환경적 스트레스에 대한 저항력이 높다는 것을 나타내며, 유전적 질과 면역력이 높다 것을 의미한다(Livshits & Kobylansky, 1991; Moller & Swaddle, 1997; Thornhill & Gangestad, 1994). 오른손 2D:4D 비율이 낮은 남성 중 변동비대칭이 낮은 남성들이 더 남성적인 몸매를 지닌 반면, 변동비대칭이 높은 남성은 덜 남성적인 몸매를 가진 것으로 나타났다. 따라서 이 결과는 유전적으로 낮은 완충 용량(buffering capacity)을 가진 남성들은 태내 테스토스테론 과잉 노출에 보다 취약하다는 것을 시사한다. 또한, 선천적인 유전자 질이나 면역 시스템으로 인해 비록 유사한 수준의 태내 테스토스테론에 노출될지라도 사춘기를 전후로 변화하는 신체체형 발달에 다르게 영향을 줄 수도 있다는 것을 시사한다.

악력(Handgrip strength)

또 다른 연구에서는 2D:4D 비율이 낮은 남성들이 높은 남성들에 비해 악력이 더 높은 것으로 나타났다(Fink, Thanzami, Seydel, & Manning, 2006). 악력은 성적이형 특질로서 남성이 여성보다 더 높고, 높은 악력은 높은 테스토스테론 수준과 관계가 있다(Page et al., 2005). 또한 악력은 건강과 전반적인 남성성을 반영한다(Chatterjee & Chowdhuri, 1991; Gallup, White, & Gallup, 2007; Kallman, Plato, Tobin, 1990; Kritz-Silverstein & Barrett-Connor, 1994). 즉, 악력이 높을수록 근육양이 많고, 신체크기가 크며, 체력이 더 좋다. 실제로 건장한 어깨와 넓은 가슴, 그리고 좁은 힙을 가진 남성들이 악력이 더 높은 것으로 나타났다(Shoup & Gallup, 2008). 또한 악력이 높은 남성들이 낮은 남성들에 비해 공격적인 행동을 더 많이 하는 것으로 나타났다(Gallup et al., 2007).

신체크기(Body size)

손가락 길이 비율은 출생 시 키와 몸무게뿐만 아니라 성인의 신체크기와 비만과도 관계가 있다. 한 연구는 2D:4D 비율이 높은(여성적인 손가락 길이 패턴) 남성들이 출생 시 키와 몸무게가 작은 경향이 있다는 것을 보고하였다(Ronalds, Phillips, Godfrey, & Manning, 2002). 출생 시 작은 키와 몸무게는 성인병과 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Barker & Sultan, 1995; Frederick, 2010). 즉, 출생 시 체중이 낮을수록 성인기에 관상심장질환, 고혈압, 그리고 당뇨병의 발생 위험률이 높아진다. 실제로 2D:4D 비율이 높은 남성들이 낮은 남성들에 비해 더 젊은 나이에 심근경색을 일으키

는 것으로 나타났다(Manning & Bundred, 2001; Manning et al., 2003). 이 결과는 높은 태내 테스토스테론과 심장의 능률간의 연관성을 나타내는 것이다. 게다가 남성의 심장 질환을 정적으로 예측하는 목둘레가 2D:4D 비율과 정적으로 상관되어 있었다(Fink, Manning, & Neave, 2005). 구체적으로, 목둘레가 큰 남성이 심장 질환을 일으킬 가능성이 더 높고, 이들의 2D:4D 비율이 목둘레가 낮은 남성보다 더 높다는 것이다. 다른 연구에서는 남성의 여성적 손가락 비율이 비만과 관계가 있다는 것을 보여 주었다(Fink, Neave, & Manning, 2003; Frederick, 2010). 왼손 2D:4D 비율이 높은 남성이 낮은 남성에 비해 체질량 지수(Body mass index, BMI)가 더 높은 것으로 나타났다. 다른 연구에서는 럭비, 축구, 그리고 농구 선수들을 대상으로 이들의 2D:4D 비율과 키가 서로 관계가 있는지 살펴보았다(Tester & Campbell, 2007). 그 결과 2D:4D 비율이 낮은 선수들이 높은 선수들에 비해 키가 더 컸다.

신체적 역량(Physical prowess)

낮은 2D:4D 비율은 축구, 하키, 펜싱 등의 여러 운동 경기에서 높은 운동 수행능력과 관계가 있다(Bennett et al., 2010; Bescos et al., 2009; Manning & Taylor, 2001; Voracek et al., 2006). 2D:4D 비율이 낮은 사람들이 스포츠와 운동 경기에서 높은 수행 능력을 나타내는 것은 그들의 높은 신체적 역량 때문일 가능성이 높다. Honekopp, Manning, 그리고 Muller(2006)는 청소년과 성인 남녀를 대상으로 2D:4D 비율과 체력(physical fitness) 측정치와의 관계를 살펴보았다. 그 결과 2D:4D 비율이 낮은 청소년들이 높은 청소년들에 비해 신체적 활동 성

취도가 더 높았다. 마찬가지로 2D:4D 비율이 낮은 성인들이 높은 성인들에 비해 체력 테스트 측정치(달리기, 장애물 아래로 기어가기, 던지기, 장애물 뛰어넘기, 팔굽혀펴기, sit ups을 포함)에서 더 월등한 점수를 받았다. Manning, Morris, 그리고 Caswell(2007)에 의해 수행된 연구에서는 2D:4D 비율이 낮은 사람들이 높은 사람들에 비해 장시간 달리기에서 더 높은 수행 능력을 보였다. 이 결과는 태내 테스토스테론이 유산소 운동의 능력을 결정하는데 중요한 요인이라는 것을 나타낸다. 또한 2D:4D 비율과 신체적 역량에 대한 연구들을 종합하여 분석한 연구에 의하면 운동 경기 기량의 측정치들(경주, 장시간 달리기 등 여러 가지 체력 테스트 결과들을 포함)은 신뢰할 만하게 2D:4D와 부적으로 상관되어 있었다($r \approx -.26, p < .001$, Honekopp & Schuster, 2010).

사회적 행동

태내 테스토스테론은 출생 후 행동적 발달에 지속적인 영향을 미치며, 남녀 성차를 보이는 행동의 대부분은 모체 내에서 노출되는 테스토스테론의 효과에 의한 것으로 여겨진다. 그렇다면, 보다 남성화된 행동은 낮은 2D:4D 비율과 관계가 있어야 한다.

공격성

공격성은 테스토스테론 수준과 관계있는 대표적인 남성 편향된 특질(male-biased) 중의 하나이다(Archer, 2004; Dabbs & Dabbs, 2000). 따라서 남성화된 손가락 비율을 가진 사람들의 공격성이 여성화된 2D:4D 비율을 가진 사람

들에 비해 더 높을 것이라는 예측이 가능하다. 여러 연구들이 이에 대한 증거를 제시하였다. 남성의 경우, 낮은 2D:4D 비율이 남아와 성인 남성의 신체적 공격성과 권투선수들의 공격성으로 인한 부상을 예측하였다(Bailey & Hurd, 2005a; Gallup et al., 2007; Hampson, Ellis, & Tenk, 2008; Joyce et al., 2013; Manning, 2002). 여성의 경우, 보다 남성화된 손가락 비율을 가진 여성들이 여성화된 손가락 비율을 가진 여성들에 비해 신체적 공격성, 간접적인 공격성, 그리고 좌절, 도발, 또는 위협에 대한 분노 반응인 반응적 공격성(reactive aggression) 등을 더 많이 보이는 것으로 나타났다(Benderlioglu & Nelson, 2004; Coyne, Manning, Ringer, & Bailey, 2007; Hampson et al., 2008). 다른 연구에서는 비전형적으로 높은 태내 테스토스테론에 노출된 여성들의 공격성을 일반 여성들과 비교하여 살펴보았다. 먼저, 선천성 부신과형성 여아들이 남성화되지 않은 자매들에 비해 갈등 상황에서 신체적 공격성을 더 많이 사용하였다(Cohen-Bendahan, van de Beek, & Berenbaum, 2005). 또한 일반 여성들이나 동성 여성 쌍둥이들과 비교해서, 남녀 이성 쌍둥이 중 여아들이 남성적 행동 패턴을 더 많이 보이며, 남성 편향적 공격성인 직접적인 언어적 공격을 더 많이 사용하였다(Cohen-Bendahan et al., 2005).

위험감수 행동(Risk-taking behavior)

높은 수준의 태내 테스토스테론과 출생 후 체내를 순환하는 테스토스테론 수준은 높은 위험감수(또는 낮은 위험회피) 행동과 관련이 있고 남성이 여성에 비해 위험감수 행동을 더 많이 한다(Harris, Jenkins, & Glaser, 2006;

Sapienza, Zingales, & Maestripieri, 2009). 위험감수는 개인의 공격성을 반영하는 행동의 한 유형이며 사회적 우위 획득의 가능성을 높인다. 또한 공격적인 위험 행동에 대한 테스토스테론의 효과는 타인과 상호작용하는 사회적 상황에서 지위 관련 정보에 노출되었을 때 그에 대한 반응성과 밀접한 관련성이 있다(Josephs et al., 2006; Mazur & Booth, 1998; Millet & Dewitte, 2007). 즉, 테스토스테론 수준이 높은 사람과 낮은 사람이 사회적 지위와 관련된 단서에 직면했을 때 반응하는 행동 양식이 다르다는 것이다. 더 구체적으로 말하면, 테스토스테론 수준이 높은 사람이 낮은 사람에 비해 지위관련 단서에 더 민감하게 반응하여 공격적인 위험 행동을 할 가능성이 더 높다는 것이다. 그렇다면, 2D:4D 비율이 낮은 남녀가 사회적 지위와 명성을 획득하는 수단으로 위험감수 행동을 더 많이 할 것이라는 것을 예측할 수 있다. 이런 논지를 지지하는 증거들이 있다.

한 연구에서 2D:4D 비율이 낮은 남성들이 높은 남성들에 비해 다섯 가지 영역(금융, 사회, 레크리에이션, 윤리, 건강)으로 구성된 위험감수 측정에서 전체적으로 더 높은 점수를 받았다. 그리고 이들은 특히 금융 관련 영역에서 위험한 선택을 더 많이 하는 것으로 나타났다(Stenstrom, Saad, Nepomuceno, & Mendenhall, 2011). 하지만, 여성에게서는 이런 효과가 관찰되지 않았다. 다른 한 연구에서도 2D:4D 비율이 낮은 남녀가 사회적인 지위나 명성을 획득할 수 있는 직업을 더 선호하는 경향이 있다는 것을 보여 주었다(Sapienza et al., 2009). 2D:4D 비율이 낮은 MBA 남녀 학생들이 높은 학생들에 비해 낮은 위험회피 경향을 보이고, 졸업 후 첫 직업을 불안정하고 위험하지만 사회적 지위를 쟁취하기에 유리한

금융시장에서 시작하는 것을 더 선호 하는 것으로 나타났다. 이것은 2D:4D 비율이 낮은 사람들이 높은 사람들에 비해 사회적 지위 추구 동기가 더 높다는 것을 의미한다. 또 다른 연구에서는, 세 가지 재정적으로 동기화된 의사결정 과제에서 2D:4D 비율이 낮은 남자가 높은 남녀보다 위험한 선택을 더 많이 하는 것으로 나타났다(Garbarino, Slonim, & Sydnor, 2011). 실제로, 금융관련 무역업에 종사하는 남성 거래자들 중 2D:4D 비율이 낮은 남성들이 더 높은 장기 수익률을 올리고 무역시장에서 장수하는 경향이 있었다(Coates, Gurnell, & Rustichini, 2009). 이들 연구 결과는 위험감수 행동이 태내 테스토스테론 노출 정도와 관련이 있다는 것을 보여준다. 높은 수준의 태내 테스토스테론에 노출된 사람들이 위험에 대한 내성이 더 높고, 이로 인해 이점을 누릴 수 있는 분야를 찾는 경향이 강하며, 또한 그 분야에서 사회적 우위를 쟁취할 가능성도 높다는 것을 시사한다.

아동을 대상으로 한 위험감수 행동에 대한 2D:4D의 효과를 살펴본 연구도 2D:4D와 위험감수의 부적 관계성을 보고하였다. Moreira, Matsushita, 그리고 Da Silva(2010)는 학령 전 아동들(4-6세)을 대상으로 시각적 도박 과제(visual gambling task)를 이용해서 위험 추구 행동에 대한 2D:4D 비율의 효과를 조사하였다. 그 결과 일반적으로 아동들은 도박 과제에서 위험추구 행동을 보이는 것으로 나타났다. 그 중 2D:4D 비율이 낮은 아동들이 높은 아동들에 비해 위험추구 경향이 더 높았다.

사회성 발달

초기 신경구조와 기능의 조직화에 관여하는

태내 테스토스테론이 사회성 발달과 관계있는 행동을 사전 프로그래밍할지 모른다는 것을 시사하는 연구 결과들이 있다.

공감(Empathy)

공감은 타인들의 감정, 생각, 의도 등을 이해하고 사회적 상호작용을 용이하게 하는 사회지능(social intelligence)의 주요한 요소 중 하나이다(Baron-Cohen, 2002). 공감능력은 성 차이를 보이고 자폐증의 한 징후이기도 하다. 즉, 여성들이 남성에 비해 공감능력이 뛰어나고, 공감능력 결여가 특징인 자폐증의 발병률이 여아에 비해 남아들이 높다(Baron-Cohen, 2002; Lutchmaya, Baron-Cohen, & Raggatt, 2002; Sapienza et al., 2009). 이들 결과는 공감능력에 대한 테스토스테론의 역할을 시사한다. Chapman 등(2006)은 공감지수(Empathy Quotient)와 눈을 통해 마음 읽기 과제(Reading the Mind in the Eyes Task)를 이용하여 아동들(6-8세)의 공감능력을 평가하고 그것을 양수로부터 직접 측정된 태내 테스토스테론 수준과 비교하였다. 그 결과, 태내 테스토스테론 수준이 높은 아동일수록 공감능력이 낮은 것으로 나타났다. 일반 성인을 대상으로 한 연구에서도 2D:4D 비율이 낮은 참여자들이 높은 참여자들에 비해 낮은 공감능력을 보이는 것으로 나타났다(Sapienza et al., 2009). 하지만 다른 한 연구에서는 2D:4D 비율과 공감능력과의 관계성을 찾지 못했다(Voracek & Dressler, 2006).

시선교류(Eye contact)

공감능력 발달의 근간이고 사회성 발달의 지표인 시선교류에 대한 태내 테스토스테론의 효과를 조사한 연구들이 있다(Dadds et al., 2012; Senju & Johnson, 2009). 한 연구는 2D:4D

비율이 높은 아동들(18 개월)이 더 오래 그리고 더 자주 부모와 시선교류를 한다는 것을 발견하였다. 한편, 다른 연구는 양수로부터 측정된 테스토스테론 수준과 아동들의(4세) 사회적 관계의 질의 관련성에 대해 알아보았다(Knickmeyer, Baron-Cohen, Raggatt, & Taylor, 2005). 그 결과 태내 테스토스테론 수준이 높은 아동일수록 사회적 관계의 질이 더 낮은 것으로 나타났다. 이 결과는 한 성 내에서 비전형적 태내 테스토스테론 수준은 비전형적인 행동 패턴을 발달시킬 수도 있다는 것을 보여주는 것이다.

결론

태내 테스토스테론은 남녀 성 차이를 보이는 여러 행동과 신체적 특질들을 사전 프로그래밍 하는 것 같다. 먼저 한 성 내에서 비전형적으로 높거나 낮은 태내 테스토스테론 수준은 비전형적인 인지능력을 발달시킬 수도 있고, 태아의 발달적 항상성을 저해하는 요인으로 작용하여 특정 질병에 취약하게 하는 요인이 될 수도 있다는 것을 보여 주었다. 또한 비전형적 태내 테스토스테론 수준이 비전형적인 사회적 행동 패턴을 발달시킬 수도 있다는 것을 보여 주었다. 즉 2D:4D 비율이 낮을수록 공격적 행동과 위협 감수 행동을 더 많이 하며, 사회적 관계를 형성하고 유지하는데 중요한 역할을 하는 공감능력이 낮은 가능성이 더 높다는 것이다. 따라서 2D:4D 비율은 여러 다양한 행동, 신체적 특질, 그리고 정신적, 신체적 질병과 관련된 생물학적인 기체에 대한 정보를 제공할 뿐만 아니라 장애 진단에 대한 보조 측정 도구로도 사용되어질 수도 있다

(Manning & Bundred, 2000; Milne et al., 2006). 또한, 2D:4D는 객관적인 측정 방법으로 쉽게 자료를 수집할 수 있기 때문에 여러 다양한 분야의 연구에 접목시킬 수 있다는 이점이 있다. 따라서 2D:4D는 인간을 대상으로 여러 다양한 행동에 대한 태내 테스토스테론의 효과를 연구하기에 유용한 간접 생물학적 지표라고 할 수 있다.

하지만 모든 2D:4D 연구들이 유의미한 결과를 보고한 것은 아니다. 그 한 예로 많은 연구들이 낮은 2D:4D 비율과 높은 공격성 간의 유의미한 결과를 보고한 반면, 몇몇 연구들은 약한 관계성을 보고하거나 유의미하지 않은 관계성을 보고하였다(Austin, Manning, McNroy, & Mathews, 2002; Bailey & Hurd, 2005a; Benderlioglu & Nelson, 2004; Honekopp & Watson, 2011; Moore, Quinter, & Freeman, 2005; Putz, Gaulin, Sporter, & McBurney, 2004; Vermeersch, T'Sjoen, Kaufman, & Vincke, 2008). 또한 일부 연구는 안드로겐 수용기의 활성이 오른손 2D:4D 비율에 유의미한 영향을 미친다는 것을 발견하지 못하였다(Hampson, & Sankar, 2012; Hurd, Vaillancourt, Dinsdale, 2011). 이와 더불어 Medland 등(2010)은 태내 테스토스테론의 수준을 반영하는 지표로 2D:4D 비율이 사용되는 것에 대한 이의를 제기하기도 하였다.

일관적이지 않은 결과들에 대해, 먼저 주목할 점은 얼마나 많은 연구들이 유의미한 결과를 보고 하였는지, 그리고 학자들이 예측한 태내 테스토스테론과 행동과의 관계의 방향성과 2D:4D 연구의 결과가 어떻게 다른지를 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다(Breedlove, 2010). 2D:4D 연구들을 전반적으로 살펴본 결과에 의하면, 유의미한 결과를 보고한 연구들이 그

렇지 않은 결과를 보고한 연구에 비해 월등히 많다. 또한 행동의 다양성에도 불구하고 2D:4D와 여러 행동 간의 관계의 방향성이 여러 학자들에 의해 예측(태내 테스토스테론 수준이 성차를 보이는 여러 행동들의 한 원인일 것이다)된 결과와 동일하다는 것이다(Breedlove, 2010; Manning, 2011).

그렇다면 유의미하지 않은 결과의 원인은 무엇인가? 추정되는 한 가지 원인은 2D:4D 비율의 낮은 측정 신뢰도이다. 2D:4D 비율의 측정 신뢰도는 누가, 어떤 방법으로, 그리고 얼마나 정확하게 측정하는가에 따라 크게 달라진다. 여러 2D:4D 연구들을 살펴보면, 연구자들 마다 각기 다른 측정 방법과 정확도를 사용하는 경우가 많다. 예를 들어 어떤 연구자는 0.01이나 0.1mm 정확도의 버니어 캘리퍼(vernier caliper)를 사용하거나 0.5나 1mm 정확도의 투명 자를 사용한다. 또 일부 연구자들은 손가락의 윤곽을 그려서 자로 측정하는 경우도 있다. 이를 검증하기 위해, Voracek, Manning, 그리고 Dressler(2007)는 한 참여자의 양손을 스캔한 후 17명의 전문가들로 하여금 2D:4D 비율을 측정하도록 하였다. 이들 중 9명은 0.01, 4명은 0.1, 3명은 0.5, 그리고 한명은 1.0mm의 정확도로 측정하였다. 17개의 측정값들 중 Manning의 측정값으로 부터 다른 16명의 연구자들이 측정한 값들이 얼마나 벗어나 있는지 그 정도를 측정하였다. 그 결과 연구자들 간의 측정의 기술적 오차(관찰 값과 실제 값의 최대 차이)의 표준 편차는 0.015 - 0.020인 것으로 나타났다. 이 값은 아주 작은 값으로 보이지만 한 집단 내에서 2D:4D 비율의 표준편차가 평균적으로 대략 0.03이라는 것을 고려한다면, 연구자들 간 오차의 크기가 작다고 할 수 없다. 따라서 다양한 측정 방법

과 정확도, 그리고 연구자들 간 오차로 인해 발생할 수 있는 낮은 측정 신뢰도가 행동에 대한 2D:4D의 효과의 크기를 감소시킬 수 있다는 것이다. 이것이 결국 2D:4D 연구에서 유의미하지 않은 결과를 얻게 하거나, 다른 연구자들이 수행한 반복연구가 기존 연구와 동일한 결과를 얻지 못하게 하는 한 원인일 수 있다. 따라서 보다 정확한 2D:4D 비율을 측정하기 위해 몇 가지 권고 사항을 준수할 필요가 있다: (1) 0.01mm 정확도로 2회 이상 반복 측정한 값의 평균을 사용, (2) 손가락의 끝과 아래 부분의 측정 표지를 준수, (3) 반복측정에 대한 신뢰도를 평가(예, 급내상관계수) (Voracek, Manning, & Dressler, 2007).

그렇다면 2D:4D 비율이 얼마나 정확하게 태내 테스토스테론의 상대적 수준을 반영하는가? 이 질문에 대한 최선의 기준은 남녀 성차이다. 실제로 모든 남성은 모든 여성들보다도 더 높은 수준의 태내 테스토스테론에 노출된다. 그리고 거의 모든 연구들이 2D:4D 비율의 남녀 성차를 일관성 있게 증명하였다(Breedlove, 2010). 그렇다면 일부 연구자들이 2D:4D 비율을 태내 테스토스테론 수준의 간접 지표로 사용되는 것에 대한 이의를 제기하는 이유는 무엇인가? 이에 대한 설명으로 2D:4D 비율 분포의 변산성과 행동에 대한 2D:4D 비율의 효과의 크기에서 찾아볼 수 있다. 먼저 분포의 변산성에 대해 살펴보면, 2D:4D 연구에서 일관성 있게 증명된 분명한 성차에도 불구하고, 평균적으로 남성의 2D:4D 비율은 여성에 비해 표준편차가 대략 0.5 정도 밖에 낮지 않다 (Voracek & Loibl, 2009). 이것은 남성과 여성의 2D:4D 비율의 분포의 상당 부분이 서로 중복된다는 것을 의미한다(Berenbaum et al., 2009).

이런 남녀 간의 중복이 2D:4D 연구에 대한 잘못된 이해를 불러일으키기도 한다. 다음으로 효과의 크기 측면에서 보면, 2D:4D 비율과 행동 간의 관계성의 크기는 작거나 중간 정도이다(Manning, 2002). 이것은 행동 변량의 많은 부분이 태내 테스토스테론으로 설명할 수는 없다는 것을 나타낸다. 실제로 인간의 행동은 유전적 요인이나 환경적 요인(예, 사회적 복잡성, 학습 등)과 같은 여러 다른 요인의 영향을 받는다. 그러므로 2D:4D 비율 하나만으로 개인의 행동을 정확하게 예측한다는 것은 불가능하다. 예를 들어 자폐증 아동 집단과 정상 아동 집단 간의 유의미한 평균 차에도 불구하고, 손가락 비율만으로 개개의 아동을 자폐증 또는 정상으로 분류할 수는 없는 것과 마찬가지이다. 그리고 만약 손가락 비율이 태내 테스토스테론의 개인차를 나타내는 좋은 지표가 아니라고 한다면, 2D:4D 비율의 남녀 차, 일반 남성과 안드로겐 둔감성 증후군 남성 간의 차, 선천성부신과형성 여성과 일반 여성들 간의 차이가 어떻게 신뢰롭게 다를 수가 있는지에 대해 다시 한 번 생각해 볼 필요가 있다 (Breedlove, 2010).

2D:4D 연구는 방법론적 한계가 있으며, 이로 인해 결과를 해석할 때 주의가 필요하다. 구체적으로 대부분의 2D:4D 연구는 관심 있는 특질이나 행동과의 상관관계를 살펴본 것이다. 그리고 2D:4D 비율은 태내 성호르몬의 상대적 수준을 간접적으로 추정하는 값이지 태내 테스토스테론의 수준을 나타내는 완전한 지표는 아니다. 따라서 상관관계의 결과로 인과론적 추론을 할 때 신중해야 한다. 예를 들어 2D:4D와 자폐증 연구에서 살펴보았듯이 보다 남성화된 2D:4D 비율을 보이는 자폐증 아동이 많다. 이 결과는 평균적으로 자폐증

아동의 2D:4D 비율이 일반 아동에 비해 더 낮다는 것이지 자폐증 아동 모두가 2D:4D 비율이 낮다는 것을 의미하는 것은 아니다. 그리고 위에서 살펴본 바와 같이 2D:4D 비율은 모든 인종 집단에서 성차를 보이고 그 효과는 오른손이 왼손에 비해 더 크게 난다. 또한 인종 간 변산성도 크고 왼손잡이들의 2D:4D 비율이 오른손잡이들에 비해 평균적으로 더 낮다. 그러므로 성별, 인종, 그리고 손잡이는 2D:4D 연구에서 반드시 고려되어야 할 사항이다.

2D:4D 연구의 방법론적 한계를 극복하기 위해서는 실험적 연구들이 필요하다. 일부 동물 연구는 2D:4D 비율과 태내 성호르몬의 수준이나 민감성과의 인과적 관계성을 증명하기도 하였다(Talarovičová et al., 2009; Zheng & Cohn, 2011). 하지만 소수의 연구로 인과적 관계성에 대한 명확한 결론에 이르기에는 아직 너무 이르다. 따라서 2D:4D 비율과 태내 성호르몬과의 인과적 관계를 명확히 밝혀 줄 실험적 연구들이 더 많이 이루어져야 할 것이다. 또한 인간 행동에 대한 생물학적 근거를 제공하고 호르몬의 역할에 대한 이해를 높이기 위해 특정 행동에 대한 2D:4D 비율의 효과가 유전적 또는 환경적 요인들에 의해 어떻게 조절되는지 알아보는 연구들이 필요하다.

참고문헌

Archer, J. (2004). Sex differences in aggression in real-world settings: A meta-analytic review. *Review of General Psychology*, 8, 291-322.

Arnold, A. P., & Breedlove, S. M. (1985).

Organizational and activational effects of sex steroids on brain and behavior: a reanalysis. *Hormones and Behavior*, 19, 469-498.

Austin, E. J., Manning, J. T., McInroy, K., & Mathews, E. (2002). A preliminary investigation of the associations between personality, cognitive ability and digit ratio. *Personality and Individual Differences*, 33, 1115-1124.

Auyeung, B., Taylor, K., Hackett, G., & Baron-Cohen, S. (2010). Research Foetal testosterone and autistic traits in 18 to 24-month-old children. *Molecular Autism*, 1, 1-8.

Bailey, A. A., & Hurd, P. L. (2005a). Finger length ratio (2D:4D) correlates with physical aggression in men but not in women. *Biological psychology*, 68, 215-222.

Bailey, A. A., & Hurd, P. L. (2005b). Depression in men is associated with more feminine finger length ratios. *Personality and Individual Differences*, 39, 829-836.

Barker, D. J. P. & Sultan, H. Y. (1995). Fetal programming of human disease. In M. A. Hanson, J. A. D. Spencer, & C. H. Rodeck (Eds.), *Growth* (pp.255-276). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Baron-Cohen, S. (2002). The extreme male brain theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 248-254.

Benderlioglu, Z., & Nelson, R. J. (2004). Digit length ratios predict reactive aggression in women, but not in men. *Hormones and Behavior*, 46, 558-564.

Ben-Hur, H., Thole, H. H., Mashiah, A., Insler,

- V., Berman, V., Shezen, E., ... & Ornoy, A. (1997). Estrogen, progesterone and testosterone receptors in human fetal cartilaginous tissue: immunohistochemical studies. *Calcified Tissue International*, 60, 520-526.
- Benderlioglu, Z., & Nelson, R. J. (2004). Digit length ratios predict reactive aggression in women, but not in men. *Hormones and Behavior*, 46, 558-564.
- Bennett, M., Manning, J. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Digit ratio (2D:4D) and performance in elite rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 28, 1415-1421.
- Berenbaum, S. A., Bryk, K. K., Nowak, N., Quigley, C. A., & Moffat, S. (2009). Fingers as a marker of prenatal androgen exposure. *Endocrinology*, 150, 5119-5124.
- Berenbaum, S. A., & Resnick, S. M. (1997). Early androgen effects on aggression in children and adults with congenital adrenal hyperplasia. *Psychoneuroendocrinology*, 22, 505-515.
- Bescos, R., Esteve, M., Porta, J., Mateu, M., Iruiria, A., & Voracek, M. (2009). Prenatal programming of sporting success: Associations of digit ratio (2D:4D), a putative marker for prenatal androgen action, with world rankings in female fencers. *Journal of Sports Sciences*, 27, 625-632.
- Bjornorp, P. (1987). Fat cell distribution and metabolism. In R. J. Wurtman & J. J. Wurtman (Eds.), *Human Obesity* (pp.66-72). New York: New York Academy of Sciences.
- Bhasin, S., Woodhouse, L., & Storer, T. W. (2001). Hormones and sport. Proof of the effect of testosterone on skeletal muscle. *Journal of Endocrinology*, 170, 27-38.
- Breedlove, S. M. (1994). Sexual differentiation of the human nervous system. *Annual Review of Psychology*, 45, 389-418.
- Breedlove, S. M. (2010). Minireview: Organizational hypothesis: instances of the fingerpost. *Endocrinology*, 151, 4116-4122.
- Brown, W. M., Hines, M., Fane, B. A., & Breedlove, S. M. (2002). Masculinized finger length patterns in human males and females with congenital adrenal hyperplasia. *Hormones and Behavior*, 42, 380-386.
- Buck, J. J., Williams, R. M., Hughes, I. A., & Acerini, C. L. (2003). In utero androgen exposure and 2nd to 4th digit length ratio—comparisons between healthy controls and females with classical congenital adrenal hyperplasia. *Human Reproduction*, 18, 976-979.
- Butovskaya, M. L., Vasilyev, V. A., Lazebny, O. E., Burkova, V. N., Kulikov, A. M., Mabulla, A., ... & Ryskov, A. P. (2012). Aggression, digit ratio, and variation in the androgen receptor, serotonin transporter, and dopamine D4 receptor genes in African Foragers: The Hadza. *Behavior Genetics*, 42, 647-662.
- Chamberlain, N. L., Driver, E. D., & Miesfeld, R. L. (1994). The length and location of CAG trinucleotide repeats in the androgen receptor N-terminal domain affect transactivation function. *Nucleic Acids Research*, 22, 3181-3186.
- Chapman, E., Baron-Cohen, S., Auyeung, B., Knickmeyer, R., Taylor, K., & Hackett, G. (2006). Fetal testosterone and empathy: Evidence from the empathy quotient (EQ) and the “reading the mind in the eyes” test. *Social*

- Neuroscience*, 1, 135-148.
- Chatterjee, S., & Chowdhuri, B. J. (1991). Comparison of grip strength and isometric endurance between the right and left hands of men and their relationship with age and other physical parameters. *Journal of Human Ergology*, 20, 41-50.
- Coates, J. M., Gurnell, M., & Rustichini, A. (2009). Second-to-fourth digit ratio predicts success among high-frequency financial traders. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 623-628.
- Cohen-Bendahan, C. C., van de Beek, C., & Berenbaum, S. A. (2005). Prenatal sex hormone effects on child and adult sex-typed behavior: methods and findings. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 29, 353-384.
- Coyne, S. M., Manning, J. T., Ringer, L., & Bailey, L. (2007). Directional asymmetry (right-left differences) in digit ratio (2D:4D) predict indirect aggression in women. *Personality and Individual Differences*, 43, 865-872.
- Crewther, B. T., Cook, C., Cardinale, M., Weatherby, R. P., & Lowe, T. (2011). Two emerging concepts for elite athletes. *Sports Medicine*, 41, 103-123.
- Csatho, A., Osvath, A., Karadi, K., Bicsak, E., Manning, J., & Kallai, J. (2003). Spatial navigation related to the second to fourth digit ratio in women. *Learning and Individual Difference*, 13, 239-249.
- Dabbs, J. M., & Dabbs, M. G. (2000). *Heroes, rogues, and lovers: Testosterone and behavior*. McGraw-Hill.
- Dadds, M. R., Allen, J. L., Oliver, B. R., Faulkner, N., Legge, K., Moul, C., ... & Scott, S. (2012). Love, eye contact and the developmental origins of empathy v. psychopathy. *The British Journal of Psychiatry*, 200, 191-196.
- De Bruin, E. I., De Nijs, P. F., Verheij, F., Verhagen, D. H., & Ferdinand, R. F. (2009). Autistic features in girls from a psychiatric sample are strongly associated with a low 2D:4D ratio. *Autism*, 13, 511-521.
- Ecker, A. (1878). Einige Bemerkungen über einen schwankenden Charakter in der Hand des Menschen [Some remarks on a varying property of the human hand]. *Archiv für Anthropologie (Braunschweig)*, 8, 67-74.
- Fairburn, C. G., & Harrison, P. J. (2003). Eating disorders. *The Lancet*, 361, 407-416.
- Feliciano, P., Niemitz, E., & Vogan, K. (2011). Sexually dimorphic digits. *Nature Genetics*, 43, 928.
- Fink, B., Manning, J. T., & Neave, N. (2005). The 2nd-4th digit ratio (2D:4D) and neck circumference: implications for risk factors in coronary heart disease. *International Journal of Obesity*, 30, 711-714.
- Fink, B., Manning, J. T., Neave, N., & Tan, U. (2004). Second to fourth digit ratio and hand skill in Austrian children. *Biological Psychology*, 67, 375-384.
- Fink, B., Neave, N., & Manning, J. T. (2003). Second to fourth digit ratio, body mass index, waist-to-hip ratio, and waist-to-chest ratio: their relationships in heterosexual men and women. *Annals of Human Biology*, 30,

- 728-738.
- Fink, B., Thanzami, V., Seydel, H., & Manning, J. T. (2006). Digit ratio and hand-grip strength in German and Mizos men: cross-cultural evidence for an organizing effect of prenatal testosterone on strength. *American Journal of Human Biology*, 18, 776-782.
- Foundas, A. L., Leonard, C. M., & Heilman, K. M. (1995). Morphologic cerebral asymmetries and handedness. The pars triangularis and planum temporale. *Archives of Neurology*, 52, 501-508.
- Frederick, M. J. (2010). Effects of early developmental stress on adult physiology and behavior. (Doctoral dissertation, the University at Albany, State University of New York).
- Gallup, A. C., White, D. D., & Gallup, G. G. (2007). Handgrip strength predicts sexual behavior, body morphology, and aggression in male college students. *Evolution and Human Behavior*, 28, 423-429.
- Gann, P. H., Hennekens, C. H., Ma, J., Longcope, C., & Stampfer, M. J. (1996). Prospective study of sex hormone levels and risk of prostate cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, 88, 1118-1126.
- Garbarino, E., Slonim, R., & Sydnor, J. (2011). Digit ratios (2D:4D) as predictors of risky decision making for both sexes. *Journal of Risk and Uncertainty*, 42, 1-26.
- Gaub, M., & Carlson, C. L. (1997). Gender differences in ADHD: a meta-analysis and critical review. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 36, 1036-1045.
- Geschwind, N., & Galaburda, A. M. (1985). Cerebral lateralization: Biological mechanisms, associations, and pathology: I. A hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology*, 42, 428-459.
- Grimshaw, G. M., Bryden, M. P., & Finegan, J. K. (1995). Relations between prenatal testosterone and cerebral lateralization in children. *Neuropsychology*, 9, 68-79.
- Gur, R. C., Richard, J., Calkins, M. E., Chiavacci, R., Hansen, J. A., Bilker, W. B., ... & Gur, R. E. (2012). Age group and sex differences in performance on a computerized neurocognitive battery in children age 8-21. *Neuropsychology*, 26, 251.
- Hampson, E., Ellis, C. L., & Tenk, C. M. (2008). On the relation between 2D:4D and sex dimorphic personality traits. *Archives of Sexual Behavior*, 37, 133-144.
- Hampson, E., & Sankar, J. S. (2012). Re-examining the Manning hypothesis: androgen receptor polymorphism and the 2D:4D digit ratio. *Evolution and Human Behavior*, 33, 557-561.
- Hankinson, S. E., Willett, W. C., Manson, J. E., Colditz, G. A., Hunter, D. J., Spiegelman, D., ... & Speizer, F. E. (1998). Plasma sex steroid hormone levels and risk of breast cancer in postmenopausal women. *Journal of the National Cancer Institute*, 90, 1292-1299.
- Harris, C. R., Jenkins, M., & Glaser, D. (2006). Gender differences in risk assessment: Why do women take fewer risks than men. *Judgment and Decision Making*, 1, 48-63.
- Helleday, J., Bartfai, A., Ritzen, M., & Forsman,

- M. (1994). General intelligence and cognitive profile in women with congenital adrenal hyperplasia (CAH). *Psychoneuroendocrinology*, 9, 343-356.
- Honekopp, J., Manning, J. T., & Muller, C. (2006). Digit ratio (2D:4D) and physical fitness in males and females: Evidence for effects of prenatal androgens on sexually selected traits. *Hormones and Behavior*, 49, 545-549.
- Honekopp, J., & Schuster, M. (2010). A meta-analysis on 2D:4D and athletic prowess: Substantial relationships but neither hand out-predicts the other. *Personality and Individual Differences*, 48, 4-10.
- Honekopp, J., & Watson, S. (2011). Meta-analysis of the relationship between digit-ratio 2D: 4D and aggression. *Personality and Individual Differences*, 51, 381-386.
- Hurd, P. L., Vaillancourt, K. L., & Dinsdale, N. L. (2011). Aggression, digit ratio and variation in androgen receptor and monoamine oxidase A genes in men. *Behavior Genetics*, 41, 543-556.
- Josephs, R. A., Sellers, J. G., Newman, M. L., & Mehta, P. H. (2006). The mismatch effect: when testosterone and status are at odds. *Journal of Personality and Social Psychology*, 90, 999-1013.
- Joyce, C. W., Kelly, J. C., Chan, J. C., Colgan, G., O'Briain, D., Mc Cabe, J. P., & Curtin, W. (2013). Second to fourth digit ratio confirms aggressive tendencies in patients with boxers fractures. *Injury*, 44, 1636-1639.
- Jung, H., Kim, K. H., Yoon, S. J., & Kim, T. B. (2011). Second to fourth digit ratio: a predictor of prostate specific antigen level and the presence of prostate cancer. *BJU International*, 107, 591-596.
- Kallai, J., Csatho, A., Kover, F., Makany, T., Nemes, J., Horvath, K., Kovacs, N., Manning, J. T., Nadel, L., & Nagy, F. (2005). MRI-assessed volume of left and right hippocampi in females correlates with the relative length of the second and fourth fingers (the 2D:4D ratio). *Psychiatry Research*, 140, 199-210.
- Kallman, D. A., Plato, C. C., & Tobin, J. D. (1990). The role of muscle loss in the age-related decline of grip strength: Cross-sectional and longitudinal perspectives. *Journal of Gerontology*, 45, 82-88.
- Kasperk, C. H., Wakley, G. K., Hierl, T., & Ziegler, R. (1997). Gonadal and adrenal androgens are potent regulators of human bone cell metabolism in vitro. *Journal of Bone and Mineral Research*, 12, 464-471.
- Kelley, D. B. (1993). Androgens and brain development: Possible contributions to developmental dyslexia. In A. M. Galaburda (Ed.), *Dyslexia and development: Neurobiological aspects of extra-ordinary brains* (pp.21-41). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kelso, W. M., Nicholls, M. E., Warne, G. L., & Zacharin, M. (2000). Cerebral lateralization and cognitive functioning in patients with congenital adrenal hyperplasia. *Neuropsychology*, 14, 370-378.
- Kempel, P., Gohlke, B., Klempau, J., Zinsberger, P., Reuter, M., & Hennig, J. (2005). Second

- to fourth digit length, testosterone, and spatial ability. *Intelligence*, 3, 215-230.
- Keshavan, M. S., & Hogarty, G. E. (1999). Brain maturational processes and delayed onset in schizophrenia. *Development and Psychopathology*, 11, 525-543.
- Klump, K. L., Gobrogge, K. L., Perkins, P. S., Thorne, D., Sisk, C. L., & Breedlove, S. (2006). Preliminary evidence that gonadal hormones organize and activate disordered eating. *Psychological Medicine*, 36, 539-546.
- Knickmeyer, R., Baron Cohen, S., Raggatt, P., & Taylor, K. (2005). Foetal testosterone, social relationships, and restricted interests in children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46, 198-210.
- Kritz-Silverstein, D., & Barrett-Connor, E. (1994). Grip strength and bone mineral density in older women. *Journal of Bone Mineral Research*, 9, 45-51.
- Livshits, G., & Kobylansky, E. (1991). Fluctuating asymmetry as a possible measure of developmental homeostasis in humans: A review. *Human Biology*, 63, 441-446.
- Logan, S., & Johnston, R. (2010). Investigating gender differences in reading. *Educational Review*, 62, 175-187.
- Lombardo, M. V., Ashwin, E., Auyeung, B., Chakrabarti, B., Lai, M. C., Taylor, K., ... & Baron-Cohen, S. (2012). Fetal programming effects of testosterone on the reward system and behavioral approach tendencies in humans. *Biological Psychiatry*, 72, 839-847.
- Lutchmaya, S., Baron-Cohen, S., & Raggatt, P. (2002). Foetal testosterone and eye contact in 12-month-old human infants. *Infant Behavior and Development*, 25, 327-335.
- Lutchmaya S, Baron-Cohen S, Raggatt P, Knickmeyer R, Manning, J. T. (2004). 2nd to 4th digit ratios, fetal testosterone and estradiol. *Early Human Development*, 77, 23-28.
- Manikkam, M., Crespi, E. J., Doop, D. D., Herkimer, C. Lee, J. S., Yu, S., ... Padmanabhan, V. (2004). Fetal programming: prenatal testosterone excess leads to fetal growth retardation and postnatal catch-up growth in sheep. *Endocrinology*, 145, 790-798.
- Manning, J. T. (2002). *Digit ratio: A pointer to fertility, behavior, and health*. New Jersey: Rutgers University Press.
- Manning, J. T. (2011). Resolving the role of prenatal sex steroids in the development of digit ratio. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 16143-16144.
- Manning, J. T., Barley, L., Walton, J., Lewis-Jones, D. I., Trivers, R. L., Singh, D., ... & Szved, A. (2000). The 2nd: 4th digit ratio, sexual dimorphism, population differences, and reproductive success: evidence for sexually antagonistic genes?. *Evolution and Human Behavior*, 21, 163-183.
- Manning, J. T., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., & Sanders, G. (2001). The 2nd to 4th digit ratio and autism. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 43, 160-164.
- Manning, J. T., & Bundred, P. E. (2000). The ratio of 2nd to 4th digit length: a new predictor of disease predisposition? *Medical Hypotheses*, 54, 855-857.
- Manning, J. T., & Bundred, P. E. (2001). The

- ratio of second to fourth digit length and age at first myocardial infarction in men: a link with testosterone? *British Journal of Cardiology*, 8, 720-723.
- Manning, J. T., Bundred, P. E., Newton, D. J., & Flanagan, B. F. (2003). The second to fourth digit ratio and variation in the androgen receptor gene. *Evolution and Human Behavior*, 24, 399-405.
- Manning, J. T., Churchill, A. J., & Peters, M. (2007). The effects of sex, ethnicity, and sexual orientation on self-measured digit ratio (2D:4D). *Archives of Sexual Behavior*, 36, 223-233.
- Manning, J. T., & Leinster, S. J. (2001). re: The ratio of 2nd to 4th digit length and age at presentation of breast cancer: a link with prenatal oestrogen?. *The Breast*, 10, 355-357.
- Manning, J. T., Morris, L., & Caswell, N. (2007). Endurance running and digit ratio (2D:4D): implications for fetal testosterone effects on running speed and vascular health. *American Journal of Human Biology*, 19, 416-421.
- Manning, J. T., & Peters, M. (2009). Digit ratio (2D: 4D) and hand preference for writing in the BBC Internet Study. *Laterality*, 14, 528-540.
- Manning, J. T., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: a predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, 13, 3000-3004.
- Manning, J. T., & Taylor, R. P. (2001). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior*, 22, 61-69.
- Manning, J. T., Trivers, R. L., Thornhill, R., & Singh, D. (2000). The 2nd:4th digit ratio and asymmetry of hand performance in Jamaican children. *Laterality*, 5, 121-132.
- Martel, M. M., Gobrogge, K. L., Breedlove, S. M., & Nigg, J. T. (2008). Masculinized finger-length ratios of boys, but not girls, are associated with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Behavioral Neuroscience*, 122, 273-281.
- Martin, S. M., Manning, J. T., & Dowrick, C. F. (1999). Fluctuating asymmetry, relative digit length, and depression in men. *Evolution and Human Behavior*, 20, 203-214.
- Mazur, A., & Booth, A. (1998). Testosterone and dominance in men. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 353-363.
- McFadden, D., Westhafer, J. G., Pasanen, E. G., Carlson, C. L., & Tucker, D. M. (2005). Physiological evidence of hypermasculinization in boys with the inattentive type of attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Clinical Neuroscience Research*, 5, 233-245.
- McIntyre, M. H., Ellison, P. T., Lieberman, D. E., Demerath, E., & Towne, B. (2005). The development of sex differences in digital formula from infancy in the Fels Longitudinal Study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272, 1473-1479.
- Medland, S. E., Zayats, T., Glaser, B., Nyholt, D. R., Gordon, S. D., Wright, M. J., ... & Evans, D. M. (2010). A Variant in LIN28B Is Associated with 2D: 4D Finger-Length Ratio, a Putative Retrospective Biomarker of

- Prenatal Testosterone Exposure. *The American Journal of Human Genetics*, 86, 519-525.
- Millet, K., & Dewitte, S. (2007). Digit ratio (2D:4D) moderates the impact of an aggressive music video on aggression. *Personality and Individual Differences*, 43, 289-294.
- Milne, E., White, S., Campbell, R., Swettenham, J., Hansen, P., & Ramus, F. (2006). Motion and form coherence detection in autistic spectrum disorder: Relationship to motor control and 2: 4 digit ratio. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36, 225-237.
- Moller, A. P., & Swaddle, J. P. (1997). *Asymmetry, Developmental Stability, and Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Moore, T., Quinter, C., & Freeman, L. M. (2005). Lack of correlation between 2D: 4D ratio and assertiveness in college age women. *Personality and Individual Differences*, 39, 115-121.
- Moreira, B., Matsushita, R., & Da Silva, S. (2010). Risk seeking behavior of preschool children in a gambling task. *Journal of Economic Psychology*, 31, 794-801.
- Muller, D. C., Baglietto, L., Manning, J. T., McLean, C., Hopper, J. L., English, D. R., Giles, G. G., and Severi, G. (2012). Second to fourth digit ratio (2D:4D), breast cancer risk factors, and breast cancer risk: a prospective cohort study. *British Journal of Cancer*, 107, 1631-1636.
- Nelson, R. J. (3rd Ed.). (2005). *An Introduction to Behavioral Endocrinology*. Sinauer Associates, Inc.
- Nelson, E., & Shultz, S. (2010). Finger length ratios (2D: 4D) in anthropoids implicate reduced prenatal androgens in social bonding. *American Journal of Physical Anthropology*, 141, 395-405.
- Nicholls, M. E., Orr, C. A., Yates, M. J., & Loftus, A. M. (2008). A new means of measuring index/ring finger (2D:4D) ratio and its association with gender and hand preference. *Laterality*, 13, 71-91.
- Noipayak, P. (2009). The ratio of 2nd and 4th digit length in autistic children. *Medical Journal of the Medical Association of Thailand*, 92, 1040.
- Okten, A., Kalyoncu, M., & Yaris, N. (2002). The ratio of second- and fourth-digit lengths and congenital adrenal hyperplasia due to 21-hydroxylase deficiency. *Early Human Development*, 70, 47-54.
- Padmanabhan, V., Manikkam, M., Recabarren, S., & Foster, D. (2006). Prenatal testosterone excess programs reproductive and metabolic dysfunction in the females. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 246, 165-174.
- Palmer, A. R., & Strobeck, C. (1986). Fluctuating asymmetry: measurement, analysis and patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 391-421.
- Page, S. T., Amory, J. K., Bowman, F. D., Anawalt, B. D., Matsumoto, A. M., Bremner, W. J., & Tenover, J. L. (2005). Exogenous testosterone (T) alone or with finasteride increases physical performance, grip strength, and lean body mass in older men with low serum T. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90, 1502-1510.
- Parsons, P. A. (1990). Fluctuating asymmetry: an

- epigenetic measure of stress. *Biological Reviews*, 65, 131-145.
- Peters, M., Mackenzie, K., & Bryden, P. (2002). Finger length and distal finger extent patterns in humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 117, 209-217.
- Putz, D. A., Gaulin, S. J. C., Sporter, R. J., & McBurney, D. H. (2004). Sex hormones and finger length: what does 2D:4D indicate? *Evolution and Human Behavior*, 25, 182-199.
- Putz, D. A., McDaniel, M. A., Jordan, C. L., & Breedlove, S. M. (2008). Spatial ability and prenatal androgens: Meta-analyses of congenital adrenal hyperplasia and digit ratio (2D:4D) studies. *Archives of Sexual Behavior*, 37, 100-111.
- Rahman, A. A., Lophatananon, A., Stewart-Brown, S., Harriss, D., Anderson, J., Parker, T., ... & Muir, K. (2010). Hand pattern indicates prostate cancer risk. *British Journal of Cancer*, 104, 175-177.
- Raymond, M., Pontier, D., Dufour, A. B., & Moller, A. P. (1996). Frequency-dependent maintenance of left handedness in humans. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 263, 1627-1633.
- Ronalds, G., Phillips, D. I. W., Godfrey, K. M., & Manning, J. T. (2002). The ratio of second to fourth digit lengths: a marker of impaired fetal growth? *Early Human Development*, 68, 21-26.
- Roney, J. R., Whitham, J. C., Leoni, M., Bellem, A., Wielebnowski, N., & Maestripieri, D. (2004). Relative digit lengths and testosterone levels in Guinea baboons. *Hormones and Behavior*, 45, 285-290.
- Sapienza, P., Zingales, L., & Maestripieri, D. (2009). Gender differences in financial risk aversion and career choices are affected by testosterone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 15268-15273.
- Senju, A., & Johnson, M. H. (2009). The eye contact effect: mechanisms and development. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 127-134.
- Shoup, M. L., & Gallup, G. G. (2008). Men's faces convey information about their bodies and their behavior: What you see is what you get. *Evolutionary Psychology*, 6, 469-479.
- Sim, K. (2013). The relationship between sex-typical body shape and quality indicators. *Journal of Social, Evolutionary, and Cultural Psychology*, 7, 97-120.
- Singh, D. (1993). Adaptive significance of female physical attractiveness: Role of waist-to-hip ratio. *Journal of Personality & Social Psychology*, 65, 293-307.
- Smith, A. R., Hawkeswood, S. E., & Joiner, T. E. (2010). The measure of a man: associations between digit ratio and disordered eating in males. *International Journal of Eating Disorders*, 43, 543-548.
- Stenstrom, E., Saad, G., Nepomuceno, M. V., & Mendenhall, Z. (2011). Testosterone and domain-specific risk: Digit ratios (2D:4D and rel2) as predictors of recreational, financial, and social risk-taking behaviors. *Personality and Individual Differences*, 51, 412-416.
- Stevenson, J. C., Everson, P. M., Williams, D. C., Hipskind, G., Grimes, M., & Mahoney, E. R. (2007). Attention deficit/hyperactivity disorder

- (ADHD) symptoms and digit ratios in a college sample. *American Journal of Human Biology*, 19, 41-50.
- Talarovičová, A., Kršková, L., & Blažeková, J. (2009). Testosterone enhancement during pregnancy influences the 2D: 4D ratio and open field motor activity of rat siblings in adulthood. *Hormones and Behavior*, 55, 235-239.
- Tester, N., & Campbell, A. (2007). Sporting achievement: What is the contribution of digit ratio? *Journal of Personality*, 75, 663-678.
- Thornhill, R., & Gangestad, S. (1993). Human facial beauty: averageness, symmetry, and parasite resistance. *Human Nature*, 4, 237-270.
- Thornhill, R., & Gangestad, S. W. (1994). Human fluctuating asymmetry and sexual behavior. *Psychological Science*, 5, 297-302.
- Trichopoulos, D. (1990). Hypothesis: does breast cancer originate in utero?. *The Lancet*, 335, 939-940.
- van Anders, S. M., Vernon, P. A., & Wilbur, C. J. (2006). Finger-length ratios show evidence of prenatal hormone-transfer between opposite-sex twins. *Hormones and Behavior*, 49, 315-319.
- van Valen, L. (1962). A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*, 16, 125-142.
- Vermeersch, H., T'Sjoen, G., Kaufman, J. M., & Vincke, J. (2008). 2d: 4d, sex steroid hormones and human psychological sex differences. *Hormones and Behavior*, 54, 340-346.
- Voracek, M., & Dressler, S. G. (2006). Lack of correlation between digit ratio (2D: 4D) and Baron-Cohen's "Reading the Mind in the Eyes" test, empathy, systemising, and autism-spectrum quotients in a general population sample. *Personality and Individual Differences*, 41, 1481-1491.
- Voracek, M., & Loibl, L. M. (2009). Scientometric analysis and bibliography of digit ratio (2D:4D) research, 1998-2008 1, 2. *Psychological Reports*, 104, 922-956.
- Voracek, M., Manning, J. T., & Dressler, S. G. (2007). Repeatability and interobserver error of digit ratio (2D: 4D) measurements made by experts. *American Journal of Human Biology*, 19, 142-146.
- Voracek, M., Reimer, B., Ertl, C., & Dressler, S. G. (2006). Digit ratio (2D:4D), lateral preferences, and performance in fencing 1. *Perceptual and Motor Skills*, 103, 427-446.
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250-270.
- Weber, D., Skirbekk, V., Freund, I., & Herlitz, A. (2014). The changing face of cognitive gender differences in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 11673-11678.
- Weissman, M. M., & Klerman, G. L. (1977). Sex differences and the epidemiology of depression. *Archives of General Psychiatry*, 34, 98-111.
- Wisniewski, A. B. (1998). Sexually-dimorphic patterns of cortical asymmetry, and the role for sex steroid hormones in determining cortical patterns of lateralization. *Psychoneuroendocrinology*, 23, 519-547.
- Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011). Developmental

심경옥·전우영 / 손가락 길이 비율의 심리학적 의미: 태내 테스토스테론의 지표로서의 2D:4D

basis of sexually dimorphic digit ratios.
Proceedings of the National Academy of Sciences,
108, 16289-16294.

1차원고접수 : 2014. 08. 01.
수정원고접수 : 2014. 10. 22.
최종게재결정 : 2014. 11. 11.

Psychological Significance of Finger Length Ratio: 2D:4D as a Marker of Prenatal Testosterone

Kyungok Sim

Woo Young Chun

Department of Psychology, Chungnam National University

It has been known that testosterone in utero is involved in structural and functional organization of the brain and has permanent effects on later behavior. The same hormone that affects early brain development also contributes to the establishment of finger length patterns. 2D:4D is a proxy biomarker of prenatal testosterone level, as low 2D:4D reflects high testosterone relative to estrogen, and a sexually dimorphic trait, as males tend to have lower 2D:4D than females. The aim of this review is to provide the physiological evidence that 2D:4D ratio can be used as a putative biomarker of prenatal testosterone levels and to give supporting evidence. In addition, this study examined the relationships between 2D:4D and sex-hormone-mediated traits (psychological, physical, and behavioral traits). Atypical levels of prenatal testosterone may be the cause of atypical behaviors and can be a possible indicator of a breakdown of developmental homeostasis, which may predispose individuals to certain diseases. 2D:4D was also associated with body shape and size, handgrip strength, and physical prowess. Therefore, 2D:4D is likely to be indirect biological indicator of prenatal testosterone levels that can be used to examine the effects of prenatal testosterone on various behaviors.

Key words : 2D:4D, prenatal testosterone, cerebral laterality, physical traits, social behavior.