

제2수지-제4수지 길이 비율과 대뇌 편측화 관계 연구

김아영¹ · 김성균² · 윤진영³ · 정재승² · 이주호¹ · 채정호⁴ · 이유상¹

A Study of the Relationships between the Ratio of 2nd to 4th Digit Length and Cerebral Laterality

Ahyoung Kim, MD,¹ Seong Kyun Kim, PhD,² Jinyoung Youn, MD,³ Jae Seung Jeong, PhD,² Joo-Ho Lee, MD,¹ Jeong-Ho Chae, MD, PhD,⁴ Yu-Sang Lee, MD, PhD¹

ABSTRACT

Objectives : Cerebral laterality is thought to be an important marker for neurodevelopment. Prenatal testosterone could influence both cerebral laterality and 2nd to 4th finger length ratio(2D : 4D). EEG coherence and 2D : 4D were examined to investigate the relationship between prenatal testosterone level and cerebral laterality.

Methods : EEG was recorded in 24 healthy subjects in the eyes closed resting state. Differences in 2D : 4D finger ratio were used to discriminate "masculine finger type" and "feminine finger type" groups. The 2D : 4D ratio was lower and greater than one for the "masculine finger type" group and "feminine finger type" group, respectively. We used coherence analysis to estimate the cortical functional connectivity.

Results : There were statistically meaningful relationships among cerebral functional connectivity, sex and finger ratio. Man and masculine finger type group showed higher intra-hemispheric coherence than those of woman and feminine finger type group. Woman and feminine finger type group showed higher inter-hemispheric coherence than those of man and masculine finger type group.

Conclusions : These results imply that prenatal testosterone might act as important determinants of cerebral laterality. Further examination of the relationship between 2D : 4D and EEG coherence in schizophrenia could give some clues for the neurodevelopmental hypothesis of schizophrenia genesis.

KEY WORDS : 2nd to 4th digit ratio(2D : 4D) · EEG coherences · Cerebral laterality.

Received : September 29, 2010 / Revised : October 19, 2010 / Accepted : November 4, 2010

Address for correspondence

Yu-Sang Lee, MD, PhD, Yongin Mental Hospital, Sangha-dong, Giheung-gu, Yongin 449-769, Korea
Tel : 031-288-0260, Fax : 031-288-0180, E-mail : yusanglee@gmail.com

¹용인정신병원 *Yong-In Mental Hospital, Yongin, Korea*

²카이스트 바이오 및 뇌 공학과 *Department of Bio and Brain Engineering, KAIST, Daejeon, Korea*

³경기도 노인전문 용인병원 *Gyeonggi Provincial Hospital For The Elderly, Yongin, Korea*

⁴가톨릭대학교 의과대학 정신과학교실

Department of Psychiatry, The Catholic University of Korea College of Medicine, Seoul, Korea

서 론

제2수지(2nd digit, 이하 2D)와 제4수지(4th digit, 이하 4D) 길이 비율(이하 2D : 4D 비율)은 종(species)과 종족(ethnic)을 떠나 자웅이체의 특성으로 남성이 여성보다 그 비가 더 낮게 나타난다고 알려져 있다.¹⁾ 즉, 일반적으로 남성의 경우에는 제4수지가 제2수지에 비하여 길고 여성의 경우에는 제4수지와 제2수지의 길이가 비슷하다. 이 2D : 4D 비율은 태아기 동안의 성호르몬 수치를 간접적으로 나타내 준다고 알려져 있다. 남성 태아는 8주째부터 테스토스테론을 형성하고 이는 13주째에 정점에 이르게 되는데, 2D : 4D 비율은 태생기 14주째에 거의 확정이 되고 이후 발달하는 동안 일정하게 비가 유지되는 것으로 보아 출생전의 성호르몬 노출이 손가락 길이에 영향을 미친다고 생각되고 있다.²⁾ 태아기 동안에 테스토스테론에 보다 많이 노출될수록 오른손의 2D : 4D 비율이 낮아진다. 또한 에스트로겐 수치가 높을수록 2D : 4D 비율이 높음으로 알려져 있다.²⁾ Kondo³⁾는 척추 동물에 있어서 생식선 분화와 손가락과 발가락 길이에 HOX 유전자가 관여한다고 보고하였고, 2D : 4D 비율의 유전율(heritability)은 60~70% 정도로 보고되어 2D : 4D 비율은 성호르몬 뿐만 아니라 유전자의 역할도 중요한 것으로 생각되고 있다.⁴⁾⁵⁾

대뇌 편측화(cerebral lateralization)는 남녀 간에 있어 서로 차이를 보이며, 남성의 뇌가 여성의 뇌보다 더욱 더 편측화되어 있거나 비대칭적이라는 여러 연구 결과들이 있다.⁶⁾ 이것은 성호르몬이 대뇌 편측화에 모종의 역할을 한다는 것을 시사하고 있는데, Geschwind와 Galaburda⁷⁾는 테스토스테론이 우반구의 발달을 촉진시킨다고 하였다. 이는 성별에 따른 성장속도의 차이, 남성에서 보이는 공간지각 능력의 우월성, 여성에서 나타나는 언어능력의 우월성, 남성에 있어서 왼손잡이의 빈도가 더 많은 점등을 설명할 수 있게 한다.⁶⁾

대뇌피질은 특정 기능을 수행하기 위하여 분포집단 내 신경 세포들이 상호 협력하며 활성화될 필요가 있다. 뇌파(Electroencephalogram, 이하 EEG)는 뇌에서 방사형으로 분포한 피질 피라미드 세포(pyramidal cells)의 접합 후부 전위(postsynaptic potentials)에 의해 주로 형성된 전기신호를 두피에서 검출하여 기록하는 검사방법이다.⁸⁾ 뇌파의 동시성(coherence)은 각각 다른 두 부

위의 전극에서 동시에 측정되는 전기적 활성도의 위상차이를 백분율로 계산한 값으로 정의되는데 이것은 두 신호 사이의 동조화 정도를 나타내며, 생리적으로는 뇌의 두 부분이 기능적으로 연결되어 있는 것을 시사한다.⁹⁾ 따라서 뇌파의 동시성은 대뇌 영역들 간의 정보 전달의 기능적 척도로서 해석될 수 있다.¹⁰⁾ Thatcher 등¹¹⁾은 뇌파의 동시성이 대뇌 피질의 서로 다른 곳에 위치하여 전기를 발생시키는 생성자 간의 연결성을 반영한다고 하였으며, 이와 같은 관찰 결과를 바탕으로 동시성 분석을 통하여 두뇌의 발달 정도를 조사하려는 연구를 지속적으로 시도해 왔다.

많은 연구들에서 2D : 4D 비율과 성적 정체성¹²⁻¹⁵⁾과의 관계, 남성과 여성의 심리적인 특성¹⁶⁻²¹⁾과의 관계, 운동 능력²²⁾²³⁾과의 관계, 얼굴 모양과의 관계²⁴⁾ 등 많은 연구들이 진행되어 왔고, 남녀의 서로 다른 특성의 차이가 2D : 4D 비율과 상관 관계가 있다는 결과들이 보고되었다. 최경호²⁵⁾ 등은 고등학생을 대상으로 성별에 따른 2D : 4D 비율을 조사하였는데, 여성이 남성에 비해 손가락 길이비가 유의미하게 높다고 하였다. 조현우²⁶⁾ 등은 태생기 성 호르몬 이상이 정신분열병 발생에 의미 있는 역할을 할 수 있다고 주장하였다. Kawasaki²⁷⁾ 등은 정신분열병 환자들이 일반인들에 비해 삼각부(pars triangularis)에서 편측화 지수(lateralization index)가 우측으로 편향되어 있었으며, 환자들의 측두면(planum temporale)이 일반인들에 비해 좌측 비대칭 정도가 감소되어 있는 것으로 보고하였다. Rapoport²⁸⁾ 등은 정신분열병의 발생에서 신경발달 이상이 중요한 역할을 하고 있다고 주장하였으며, 대뇌 측성화는 신경발달 이상을 반영하는 하나의 중요한 지표가 된다.

본 연구에서는 성 호르몬이 신경발달에서 중요한 역할을 하며, 태내 테스토스테론 노출 정도에 따라 오른손 2D : 4D 비율과 두뇌의 성적인 차이가 나타난다는 근거들을 기반으로 2D : 4D 비율과 대뇌의 특성, 특히 대뇌 편측화와의 관련성을 알아보고자 하였으며 이는 관련된 최초의 연구이다. 2D가 4D보다 길이가 긴 경우를 여성형 손가락 길이비로, 2D가 4D보다 길이가 짧은 경우를 남성형 손가락 길이비로 정의하였다. 여성형 손가락 길이비 집단은 남성형에 비해 반구간 연결성이 더 활발한 반면, 남성형은 여성형에 비해 반구내 연결성이 더 활발할 것이라고 가정하였다. 일부의 연구들이 있었지만 아직까지 국내에서 2D : 4D 비율과 관련된 연구가 드물고,

정신질환자나 일반인을 대상으로 2D : 4D 비율과 대뇌 편측화와의 연관성에 대한 연구는 없는 실정이다. 손가락 길이비로 대표되는 태내 성 호르몬의 상태와 대뇌 편측화 관계를 알아보는 것은 향후 편측화 이상을 보이는 정신분열병 환자군을 대상으로 한 연구가 추가적으로 시행된다면 일반인과 환자군 간에 어떠한 차이가 있는지에 대한 예비연구로서 정신분열병의 발생기전을 이해하는데 있어 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

연구대상 및 방법

연구대상

중추신경계 질환과 정신과적 질환의 병력 및 현재력이 없는 용인정신병원 근무자를 대상으로 하였다. 대상군은 모두 24명으로 남성 11명(남성형 손가락 길이비 9명, 여성형 손가락 길이비 2명), 여성 13명(남성형 손가락 길이비 4명, 여성형 손가락 길이비 9명)으로 이루어졌으며, 오른손잡이었다(Table 1, 2). 본 연구는 용인정신병원 윤리위원회의 승인을 얻었고, 모든 연구 참여자들은 연구에 대한 설명을 듣고 참가에 서면 동의하였다.

연구방법

2D : 4D 비율

손가락 길이의 측정은 Manning²⁾이 제시한 대로 손바닥 이 보이는 상태로 손을 바닥에 붙인 상태에서 엄지 손가락은 벌리고 나머지 네 손가락은 모은 상태로 두고, 손가락의 가장 아래쪽 주름(proximal crease)부터 손가락 끝(finger tip)까지의 길이를 직접 측정하는 방법을 이용하였다. Vernier caliper를 이용하여 0.01mm 단위까지 검지와 약지의 길이를 직접 측정하여 기록하였으며 연구자 한 사람이 모든 연구 참여자들을 직접 측정하였다. 2D : 4D 비율이 1.0보다 큰 경우를 여성형 손가락 길이비로, 2D : 4D 비율이 1.0보다 작은 경우를 남성형 손가락 길이비로 정의하였다. Manning²⁾에 의하면 2D : 4D 비율과 테스토스테론 수치와의 관계는 오른손이 왼손보다 더 두드러지게 나타나며, 왼손잡이는 뇌의 편측화(brain lateralization)의 혼란과 관련있는 것으로 알려져 있어 명확한 오른손잡이만 통계분석에 이용하기로 하였다.²⁹⁾ 이를 위해 Oldfield³⁰⁾가 제시한 Edinburgh Handedness Inventory에 있는 8가지 항목(글쓰기,

그림그리기, 던지기, 가위질, 칫솔질, 칼질, 손가락질, 성냥켜기)으로 설문조사를 하였고, 연구대상자들은 8개 항목 모두에서 오른손을 사용하였다.

뇌파의 동시성

뇌파 측정 방법

뇌파검사는 정상적인 수면을 취한 참여자들로부터 오전 9시에서 오후 4시 사이에 전자차폐된 뇌파검사실에서 얻어졌다. 뇌파측정기계는 alpha-trace record TC-32(B.E.S.T. Medical Systems, Dr Grossegger & Dr-bal GmbH, Vienna, Austria)를 사용하였고, 16개 전극(Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, T3, T4, C3, C4, T5, P6, P3, P4, O1, O2)을 국제전극배치법인 10~20 system에 의하여 부착하였다. 기준전극으로는 A1, A2를 사용하였고, 교류저항(impedence)을 10k Ω 이하로 하였다. 뇌파신호는 나이키스트의 정리(Nyquist Theorem)에 따라 256sample/sec간격으로 구하였으며 이를 12-bit analog-to-digital conversion하였다. 두 개의 전극을 양안의 외측안각(outer canthus)의 1cm 바깥쪽 위 아래로 설치하여 안전도(electroophthalmography, 이하 EOG)를 관찰하며, 주파수 필터링은 대역통과여파기(band pass filter)를 사용해 1~64Hz의 주파수 대역에 적용하였고, 교류유도에 의한 60Hz의 상용교류잡파를 제거하기 위해 60Hz 노치필터(notch filter)를 이용하였다. 모든 대상자들에게 대하여 10분간 각성상태에서 눈을 감고 뇌파를 측정하였으며, 신경과 전문의가 한 에폭(epoch)에 1,024포인트씩 총20초의 5,120포인트에 해당하는 뇌파의 시계열 데이터를 동시성 분석을 위해 선정하였다.

동시성 분석

동시성(Coh)은 일정 주파수 영역(f)의 두 전극(a, b)에서 두 전극의 교차-스펙트럼(cross-spectrum) 값의 자승을 각각 전극의 파워 스펙트럼 값의 곱으로 나누는 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Coh}_{ab}(f) = P_{ab}(f)^2 / [P_a(f) \times P_b(f)]$$

f는 주파수를, P는 파워 스펙트럼의 값을 의미하며, P_{ab}(f)는 두 전극의 교차-스펙트럼 값을 나타내고 P_a(f)와 P_b(f)는 각각 두 전극의 파워 스펙트럼 값으로 이들 값은 피질 영역들 사이의 기능적 연결성을 나타내주는 척도로 사용되어 왔다.³¹⁾

각각의 뇌파 시계열 자료는 푸리에 변환(Fast Fourier Transforms)의 알고리즘(algorithm)을 이용하여 뇌파의 델타 주파수(δ wave, 1.0~4.0Hz), 세타 주파수(θ wave, 4.0~8.0Hz), 알파 주파수(α wave, 8.0~12.0 Hz), 베타1 주파수(β 1 wave, 12.0~20.0Hz), 베타 2 주파수(β 2 wave, 20.0~30.0Hz)영역에 대해 구분 지어지고, 각 주파수 영역별에 대하여 동시성을 분석하였다.

반구간 동시성은 중심선을 중심으로 좌우 측의 대칭적인 전극과 비대칭적인 전극을 포함시켰고, 반구내 동시성은 전부, 중부, 후부로 크게 구분하였다. 본 연구에서는 가능한 조합으로부터 나올 수 있는 총 153개 전극쌍에서 주파수 영역대별 동시성 값을 측정하였다.

동시성 값은 0(전혀 선형관계가 없다)에서 1(전적인 선형관계가 있다) 사이의 값을 가지며, 뇌의 서로 다른 부분들에서 나온 전기생리적 신호들 사이의 동시성 값은 각 부분들 간의 구조적 연결성 혹은 기능적 결합성을 나타낸다.³²⁾³³⁾ 동시성 값을 주파수별, 대뇌 영역별로 평균 값을 구하여 성별 및 손가락 길이비 간에 유의미한 차이가 있는지를 분석하고, 손가락 길이비와 동시성 값 사이의 상관관계를 분석하였다.

통계분석

동시성 결과에 대한 통계분석은 특정 주파수 영역별 대뇌 특정 부위의 반구간 및 반구내 동시성 값들에서 1) 성

물학적인 성별에 따른 남성과 여성 참여자들에 대한 뇌파의 동시성 차이 분석과 2) 2D : 4D 비율에 따라 남성형 손가락 길이 유형과 여성형 손가락 길이 유형으로 나눈 참여자들의 뇌파의 동시성 차이 분석에 대하여 Mann-Whitney 검정법을 실시하였다. 또한 2D : 4D 비율과 뇌파의 동시성 값간의 상관관계를 분석하기 위해 Spearman 상관분석을 시행하였다. 성별 및 연령 분포와 같은 인구통계학적인 데이터를 비롯하여 뇌파의 동시성 결과에 따른 각 그룹간의 차이를 통계적으로 분석하기 위해서 SPSS 12.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램이 사용되었다. 각 그룹간에 통계적으로 의미가 있게 차이가 나는 것을 결정하는 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다. 또한, 다중검정(multiple testing)으로 인한 문제점을 해결하기 위해 Mann-Whitney 검정법으로 구한 성별 및 손가락 길이 유형에 따른 뇌파의 동시성 차이에 대한 p 값에 본페로니(Bonferroni) 교정을 하였다. 본페로니 교정은 반구간과 반구내의 그룹에 대하여 유의수준($p < 0.05$) 값을 각각의 주파수 개수 x 전극쌍 개수로 나누어, 이보다 작은 경우 통계적으로 유의미하다고 정의하였다.³⁴⁾

결 과

성별 및 연령 분포

연구 참가자들의 인구통계학적인 특성과 각 척도에서의 평균 및 표준편차, 척도별 손가락 길이 유형의 차이

Table 1. Demographic and digit characteristics of subjects(mean \pm SD)

	Male(n = 11)		Female(n = 13)		Mann-whitney (p value)
	Masculine(n = 9)	Feminine(n = 2)	Masculine(n = 4)	Feminine(n = 9)	
Age(years)	31.4(\pm 3.98)		30.6(\pm 3.78)		1.000
2D : 2 nd digit(mm)	70.61(\pm 3.88)		67.86(\pm 4.01)		0.093
4D : 4 th digit(mm)	74.00(\pm 2.73)		68.42(\pm 4.72)		0.002*
2D : 4D	0.954(\pm 0.043)		0.990(\pm 0.045)		0.026*

* : $p < 0.05$

Table 2. Demographic and digit characteristics of subjects classified with masculine and feminine digit type(mean \pm SD)

	Masculine(n = 13)		Feminine(n = 11)		Mann-whitney (p value)
	Male(n = 9)	Female(n = 4)	Male(n = 2)	Female(n = 9)	
Age(years)	29.9(\pm 1.75)		32.2(\pm 5.15)		0.063
2D : 2 nd digit(mm)	69.60(\pm 3.89)		68.50(\pm 4.47)		0.531
4D : 4 th digit(mm)	74.00(\pm 2.81)		67.40(\pm 4.17)		< 0.001*
2D : 4D	0.941(\pm 0.034)		1.017(\pm 0.018)		< 0.001*

* : $p < 0.05$

가 Table 1에 기술되어 있다. 남성과 여성 각각 연령, 검지길이, 약지길이, 2D : 4D 비율에서 성별에 따른 차이가 있는가를 살펴보기 위해 Mann-Whitney 검정법을 실시하였다. 검증 결과, 검지길이와 연령을 제외한 약지길이, 2D : 4D 비율의 측정치에서는 성별 간에 유의미한 차이가 나타났다(Table 1, 2).

성별과 반구간 동시성

여성은 델타 주파수의 F3-F4($p = 0.011$), 세타 주파수의 Fp1-Fp2($p = 0.006$), F3-F4($p = 0.015$), 알파 주파수의 Fp1-Fp2($p = 0.026$), 베타 1 주파수의 Fp1-Fp2($p < 0.001$), F3-F4($p = 0.035$), Fp2-T5($p <$

0.001), Fp2-C3($p < 0.001$), Fp2-P3($p < 0.001$), F4-T5($p = 0.005$), 베타 2 주파수의 Fp1-Fp2($p = 0.006$), Fp2-P3($p = 0.005$)에서 남성에 비해 유의미하게 더 높은 동시성 값을 보였다. 또한 베타 1의 Fp1-Fp2, Fp2-T5, Fp2-C3, Fp2-P3 전극쌍은 본페로니 교정 후에도 여전히 유의미한 동시성 차이를 나타냈다(Table 3).

성별과 반구내 동시성

남성은 델타 주파수의 P3-T3($p = 0.041$), O2-T4($p = 0.013$), C3-T3($p = 0.035$), 세타 주파수의 Fp1-F3($p = 0.047$), P3-T3($p = 0.001$), O2-T4($p =$

Table 3. Differences of inter-hemispheric coherences in sex and digit-ratio type (mean \pm SD)

Inter-hemispheric	Frequency bands	Sex			Digit-length ratio type			Spearman ρ , p value
		Male	Female	Mann-whitney U, Z (p value)	Masculine type	Feminine type	Mann-whitney U, Z (p value)	
Fp1-Fp2	Alpha	0.68 \pm 0.08	0.77 \pm 0.13	33.0, -2.231, 0.026*	0.69 \pm 0.10	0.76 \pm 0.13	42.0, -1.709, 0.093	0.283, 0.181
	Beta1	0.29 \pm 0.14	0.58 \pm 0.15	8.0, -3.679, <0.001* [†]	0.36 \pm 0.18	0.54 \pm 0.20	31.0, -2.346, 0.018*	0.400, 0.053
	Beta2	0.28 \pm 0.09	0.48 \pm 0.16	25.0, -2.695, 0.006*	0.34 \pm 0.14	0.46 \pm 0.17	44.5, -1.565, 0.119	0.308, 0.143
	Theta	0.43 \pm 0.14	0.63 \pm 0.15	25.0, -2.694, 0.006*	0.48 \pm 0.16	0.61 \pm 0.17	38.0, -1.941, 0.055	0.357, 0.087
	Delta	0.45 \pm 0.21	0.58 \pm 0.12	50.0, -1.246, 0.228	0.48 \pm 0.20	0.56 \pm 0.14	63.0, -0.492, 0.649	0.175, 0.413
F3-F4	Alpha	0.70 \pm 0.07	0.72 \pm 0.16	55.0, -1.246, 0.228	0.71 \pm 0.10	0.72 \pm 0.16	57.0, -0.840, 0.424	0.144, 0.503
	Beta1	0.27 \pm 0.11	0.40 \pm 0.15	35.5, -2.087, 0.035*	0.31 \pm 0.15	0.37 \pm 0.15	54.0, -1.014, 0.331	0.078, 0.718
	Beta2	0.21 \pm 0.06	0.25 \pm 0.11	66.0, -0.319, 0.776	0.24 \pm 0.09	0.22 \pm 0.10	63.0, -0.492, 0.649	-0.128, 0.551
	Theta	0.43 \pm 0.09	0.56 \pm 0.17	30.0, -2.404, 0.015*	0.47 \pm 0.15	0.54 \pm 0.16	47.0, -1.419, 0.167	0.048, 0.823
	Delta	0.34 \pm 0.11	0.51 \pm 0.16	28.0, -2.521, 0.011*	0.42 \pm 0.18	0.45 \pm 0.14	60.0, -0.666, 0.531	0.068, 0.735
Fp2-T5	Alpha	0.27 \pm 0.07	0.23 \pm 0.08	51.5, -1.159, 0.252	0.25 \pm 0.08	0.24 \pm 0.07	64.0, -0.435, 0.691	-0.098, 0.648
	Beta1	0.11 \pm 0.01	0.17 \pm 0.05	3.5, -3.941, <0.001* [†]	0.12 \pm 0.03	0.17 \pm 0.06	30.5, -2.376, 0.015*	0.450, 0.027*
	Beta2	0.11 \pm 0.02	0.15 \pm 0.05	45.0, -1.537, 0.134	0.12 \pm 0.02	0.15 \pm 0.06	53.0, -1.073, 0.303	0.366, 0.078
	Theta	0.15 \pm 0.04	0.16 \pm 0.07	68.0, -0.174, 0.865	0.14 \pm 0.04	0.18 \pm 0.06	42.0, -1.709, 0.093	0.232, 0.276
	Delta	0.18 \pm 0.04	0.17 \pm 0.04	63.5, -0.464, 0.649	0.17 \pm 0.03	0.17 \pm 0.05	68.0, -0.203, 0.865	0.098, 0.649
36. Fp2-C3	Alpha	0.44 \pm 0.14	0.52 \pm 0.16	48.0, -1.362, 0.186	0.46 \pm 0.15	0.52 \pm 0.16	53.0, -1.072, 0.303	0.242, 0.254
	Beta1	0.15 \pm 0.05	0.35 \pm 0.11	4.0, -3.911, <0.001* [†]	0.20 \pm 0.10	0.33 \pm 0.14	30.0, -2.404, 0.015*	0.399, 0.053
	Beta2	0.15 \pm 0.02	0.27 \pm 0.12	24.0, -2.753, 0.005*	0.18 \pm 0.07	0.26 \pm 0.13	39.0, -1.854, 0.063	0.411, 0.046*
	Theta	0.26 \pm 0.08	0.35 \pm 0.12	41.0, -1.767, 0.082	0.28 \pm 0.10	0.35 \pm 0.12	50.0, -1.246, 0.228	0.036, 0.867
	Delta	0.24 \pm 0.10	0.31 \pm 0.07	40.0, -1.827, 0.072	0.26 \pm 0.10	0.29 \pm 0.07	57.0, -0.841, 0.424	0.124, 0.563
Fp2-P3	Alpha	0.33 \pm 0.11	0.35 \pm 0.12	66.0, -0.319, 0.776	0.32 \pm 0.10	0.37 \pm 0.13	52.0, -1.130, 0.277	0.279, 0.188
	Beta1	0.11 \pm 0.03	0.24 \pm 0.09	5.0, -3.854, <0.001* [†]	0.15 \pm 0.09	0.21 \pm 0.09	35.5, -2.086, 0.035*	0.333, 0.112
	Beta2	0.13 \pm 0.02	0.20 \pm 0.11	50.0, -1.246, 0.228	0.16 \pm 0.09	0.18 \pm 0.08	64.0, -0.435, 0.691	0.205, 0.336
	Theta	0.19 \pm 0.07	0.25 \pm 0.08	43.0, -1.652, 0.106	0.20 \pm 0.07	0.24 \pm 0.09	49.0, -1.304, 0.207	0.163, 0.446
	Delta	0.19 \pm 0.06	0.23 \pm 0.06	44.5, -1.565, 0.119	0.21 \pm 0.07	0.22 \pm 0.05	62.0, -0.551, 0.608	0.080, 0.711
F4-T5	Alpha	0.28 \pm 0.10	0.26 \pm 0.11	63.0, -0.492, 0.649	0.25 \pm 0.11	0.30 \pm 0.10	51.0, -1.188, 0.235	0.219, 0.303
	Beta1	0.12 \pm 0.03	0.18 \pm 0.05	24.5, -2.726, 0.005*	0.13 \pm 0.03	0.19 \pm 0.06	25.0, -2.697, 0.006*	0.289, 0.170
	Beta2	0.12 \pm 0.02	0.12 \pm 0.03	67.0, -0.261, 0.820	0.12 \pm 0.03	0.12 \pm 0.03	71.0, -0.029, 1.000	-0.037, 0.865
	Theta	0.20 \pm 0.08	0.23 \pm 0.08	55.5, -0.927, 0.361	0.18 \pm 0.07	0.25 \pm 0.08	33.5, -2.203, 0.026*	0.309, 0.141
	Delta	0.24 \pm 0.05	0.25 \pm 0.09	68.0, -0.203, 0.865	0.23 \pm 0.04	0.25 \pm 0.09	67.5, -0.232, 0.820	0.018, 0.935

Masculine type means 2D : 4D < 1.0, Feminine type means 2D : 4D > 1.0 * : $p < 0.05$, [†] : $p_{\text{Bonf}} < 0.05$

0.015), P4-T4(p = 0.002), T5-O1(p = 0.015), C3-T3(p = 0.006), 알파 주파수의 Fp1-F3(p = 0.015), Fp2-F4 (p = 0.006), Fp2-F8(p = 0.035), P3-T3(p < 0.001), P4-T4(p < 0.001), C3-T3(p = 0.006), 베타 1 주파수의 Fp2-F4(p = 0.015), Fp2-F8(p = 0.013), P3-T3 (p < 0.001), O2-T4(p = 0.007), P4-T4(p = 0.001), T5-O1(p = 0.047), C3-T3(p < 0.001), 베타 2 주파수의 Fp2-F4(p = 0.013), Fp2-F8(p = 0.005), P3-T3(p < 0.001), O2-T4(p = 0.002), P4-T4(p < 0.001), T5-O1(p = 0.007),

Table 4. Differences of intra-hemispheric coherences in sex and digit-ratio type (mean \pm SD)

Intra-hemispheric	Frequency bands	Sex			Digit-length ratio type			Spearman ρ , p value
		Male	Female	Mann-Whitney U, Z (p value)	Masculine type	Feminine type	Mann-Whitney U, Z (p value)	
Fp1-F3	Alpha	0.89 \pm 0.07	0.80 \pm 0.12	30.0, -2.405, 0.015*	0.88 \pm 0.07	0.79 \pm 0.12	30.5, -2.376, 0.015*	-0.502, 0.012*
	Beta1	0.75 \pm 0.08	0.64 \pm 0.14	41.5, -1.738, 0.082	0.71 \pm 0.12	0.66 \pm 0.14	53.5, -1.043, 0.303	-0.231, 0.277
	Beta2	0.66 \pm 0.12	0.60 \pm 0.14	49.0, -1.304, 0.207	0.64 \pm 0.13	0.61 \pm 0.15	61.0, -0.608, 0.569	-0.008, 0.971
	Theta	0.73 \pm 0.14	0.63 \pm 0.15	37.0, -1.999, 0.047*	0.70 \pm 0.15	0.63 \pm 0.15	42.0, -1.709, 0.093	-0.401, 0.052
	Delta	0.61 \pm 0.21	0.54 \pm 0.14	47.0, -1.420, 0.167	0.61 \pm 0.19	0.53 \pm 0.15	45.0, -1.536, 0.134	-0.322, 0.125
Fp2-F4	Alpha	0.87 \pm 0.07	0.78 \pm 0.09	25.0, -2.694, 0.006*	0.85 \pm 0.08	0.79 \pm 0.10	45.0, -1.535, 0.134	-0.382, 0.066
	Beta1	0.69 \pm 0.09	0.55 \pm 0.14	30.0, -2.404, 0.015*	0.66 \pm 0.12	0.56 \pm 0.12	35.0, -2.115, 0.035*	-0.476, 0.019*
	Beta2	0.62 \pm 0.10	0.47 \pm 0.13	29.5, -2.434, 0.013*	0.57 \pm 0.14	0.51 \pm 0.13	49.0, -1.275, 0.207	-0.308, 0.143
	Theta	0.67 \pm 0.10	0.60 \pm 0.14	47.0, -1.419, 0.167	0.65 \pm 0.10	0.60 \pm 0.15	56.0, -0.898, 0.392	-0.415, 0.044*
	Delta	0.53 \pm 0.14	0.54 \pm 0.11	70.5, -0.058, 0.955	0.54 \pm 0.13	0.53 \pm 0.11	65.5, -0.348, 0.733	-0.180, 0.401
Fp2-F8	Alpha	0.82 \pm 0.11	0.72 \pm 0.11	35.0, -2.115, 0.035*	0.80 \pm 0.13	0.73 \pm 0.10	44.0, -1.594, 0.11	-0.353, 0.090
	Beta1	0.62 \pm 0.12	0.48 \pm 0.14	29.0, -2.462, 0.013*	0.61 \pm 0.15	0.47 \pm 0.12	32.0, -2.288, 0.022*	-0.470, 0.021*
	Beta2	0.56 \pm 0.12	0.41 \pm 0.13	24.0, -2.752, 0.005*	0.51 \pm 0.15	0.44 \pm 0.14	43.0, -1.651, 0.106	-0.348, 0.095
	Theta	0.54 \pm 0.10	0.47 \pm 0.13	52.5, -1.101, 0.277	0.53 \pm 0.12	0.47 \pm 0.12	50.5, -1.217, 0.228	-0.422, 0.040*
	Delta	0.41 \pm 0.10	0.39 \pm 0.16	59.0, -0.724, 0.494	0.42 \pm 0.11	0.38 \pm 0.16	50.0, -1.246, 0.228	-0.299, 0.156
P3-T3	Alpha	0.86 \pm 0.04	0.68 \pm 0.12	10.0, -3.564, < 0.001* [†]	0.77 \pm 0.15	0.76 \pm 0.11	58.0, -0.782, 0.459	-0.226, 0.289
	Beta1	0.74 \pm 0.05	0.51 \pm 0.09	4.0, -3.911, < 0.001* [†]	0.66 \pm 0.14	0.56 \pm 0.12	42.0, -1.709, 0.093	-0.430, 0.036*
	Beta2	0.70 \pm 0.06	0.48 \pm 0.15	2.0, -4.027, < 0.001* [†]	0.59 \pm 0.19	0.57 \pm 0.12	51.0, -1.188, 0.252	-0.239, 0.261
	Theta	0.75 \pm 0.11	0.57 \pm 0.13	15.5, -3.245, 0.001* [†]	0.68 \pm 0.16	0.62 \pm 0.13	48.5, -1.333, 0.186	-0.244, 0.251
	Delta	0.72 \pm 0.12	0.57 \pm 0.17	36.0, -2.028, 0.041*	0.67 \pm 0.15	0.60 \pm 0.18	54.5, -0.985, 0.331	-0.255, 0.229
O2-T4	Alpha	0.38 \pm 0.16	0.28 \pm 0.14	45.0, -1.535, 0.134	0.33 \pm 0.16	0.34 \pm 0.16	71.0, -0.029, 1.000	-0.187, 0.381
	Beta1	0.31 \pm 0.13	0.18 \pm 0.08	26.0, -2.636, 0.007*	0.26 \pm 0.12	0.21 \pm 0.12	52.0, -1.130, 0.277	-0.317, 0.132
	Beta2	0.31 \pm 0.11	0.17 \pm 0.07	20.0, -2.984, 0.002*	0.27 \pm 0.12	0.20 \pm 0.10	45.0, -1.507, 0.134	-0.394, 0.057
	Theta	0.32 \pm 0.12	0.21 \pm 0.09	30.5, -2.376, 0.015*	0.27 \pm 0.14	0.25 \pm 0.09	68.0, -0.203, 0.865	-0.058, 0.787
	Delta	0.36 \pm 0.12	0.23 \pm 0.09	29.0, -2.463, 0.013*	0.30 \pm 0.14	0.27 \pm 0.10	66.5, -0.290, 0.776	-0.084, 0.697
P4-T4	Alpha	0.85 \pm 0.06	0.64 \pm 0.14	12.0, -3.449, < 0.001* [†]	0.77 \pm 0.15	0.69 \pm 0.15	48.5, -1.333, 0.186	-0.398, 0.054
	Beta1	0.64 \pm 0.13	0.41 \pm 0.15	15.0, -3.273, 0.001* [†]	0.58 \pm 0.18	0.44 \pm 0.15	37.0, -1.999, 0.047*	-0.570, 0.004*
	Beta2	0.55 \pm 0.10	0.33 \pm 0.12	7.0, -3.737, < 0.001* [†]	0.50 \pm 0.13	0.36 \pm 0.15	29.0, -2.462, 0.013*	-0.531, 0.008*
	Theta	0.70 \pm 0.10	0.51 \pm 0.14	20.0, -2.984, 0.002*	0.65 \pm 0.16	0.54 \pm 0.13	39.0, -1.883, 0.063	-0.468, 0.021*
	Delta	0.63 \pm 0.07	0.50 \pm 0.18	40.5, -1.796, 0.072	0.58 \pm 0.17	0.54 \pm 0.14	52.5, -1.101, 0.277	-0.315, 0.134
T5-O1	Alpha	0.68 \pm 0.17	0.52 \pm 0.21	41.0, -1.768, 0.082	0.65 \pm 0.16	0.53 \pm 0.24	51.0, -1.188, 0.252	-0.323, 0.123
	Beta1	0.61 \pm 0.13	0.46 \pm 0.17	37.0, -1.999, 0.047*	0.57 \pm 0.13	0.48 \pm 0.20	51.0, -1.188, 0.252	-0.191, 0.370
	Beta2	0.59 \pm 0.13	0.41 \pm 0.18	26.0, -2.637, 0.007*	0.54 \pm 0.13	0.45 \pm 0.22	54.0, -0.985, 0.331	-0.140, 0.514
	Theta	0.61 \pm 0.17	0.45 \pm 0.18	30.0, -2.404, 0.015*	0.58 \pm 0.15	0.46 \pm 0.22	44.0, -1.593, 0.119	-0.328, 0.117
	Delta	0.65 \pm 0.20	0.52 \pm 0.16	39.0, -1.883, 0.063	0.61 \pm 0.19	0.54 \pm 0.18	51.0, -1.188, 0.252	-0.149, 0.488
C3-T3	Alpha	0.84 \pm 0.07	0.66 \pm 0.19	25.0, -2.694, 0.006*	0.38 \pm 0.16	0.28 \pm 0.14	54.0, -1.014, 0.331	-0.184, 0.390
	Beta1	0.73 \pm 0.08	0.52 \pm 0.13	13.0, -3.389, < 0.001* [†]	0.66 \pm 0.17	0.56 \pm 0.11	41.0, -1.767, 0.082	-0.344, 0.100
	Beta2	0.69 \pm 0.07	0.45 \pm 0.13	4.0, -3.911, < 0.001* [†]			46.0, -1.477, 0.150	-0.274, 0.195
	Theta	0.75 \pm 0.10	0.58 \pm 0.14	25.5, -2.666, 0.006*	0.69 \pm 0.15	0.63 \pm 0.14	52.0, -1.130, 0.277	-0.212, 0.320
	Delta	0.75 \pm 0.11	0.62 \pm 0.16	35.0, -2.115, 0.035*	0.70 \pm 0.16	0.65 \pm 0.15	56.0, -0.898, 0.392	-0.263, 0.214

Masculine type means 2D : 4D > 1.0, Feminine type means 2D : 4D < 1.0. * : p < 0.05, † : p_{bonf} < 0.05

C3-T3($p < 0.001$)에서 여성에 비하여 유의미하게 더 높은 동시성 값을 보였다. 또한 알파의 P3-T3, P4-T4, 베타 1의 P3-T3, P4-T4, C3-T3, 베타 2의 P3-T3, P4-T4, C3-T3, 세타의 P3-T3 전극쌍은 본페로니 교정 후에도 여전히 유의미한 동시성 차이를 나타냈다(Table 4).

손가락 길이비 유형과 반구간 동시성

여성형 손가락 길이비 집단은 세타 주파수의 F4-T5($p = 0.026$), 베타 1 주파수의 Fp1-Fp2($p = 0.018$), Fp2-T5($p = 0.015$), Fp2-C3($p = 0.015$), Fp2-P3($p = 0.035$), F4-T5($p = 0.006$)에서 남성형 손가락 길이비 집단에 비해 유의미하게 더 높은 동시성 값을 보였다(Table 3).

손가락 길이비 유형과 반구내 동시성

남성형 손가락 길이비 집단은 알파 주파수의 Fp1-F3($p = 0.015$), 베타 1 주파수의 Fp2-F4($p = 0.035$), Fp2-F8($p = 0.022$), P4-T4($p = 0.047$), 베타 2 주파수의 P4-T4($p = 0.013$)에서 여성형 손가락 길이비 집단에 비해 유의미하게 더 높은 동시성 값을 보였다(Table 4).

손가락 길이비와 뇌파 동시성 값 사이의 상관관계

Spearman 상관분석을 한 결과 베타 1 주파수의 Fp2-T5($\rho = 0.452, p = 0.027$), 베타 2 주파수의 Fp2-C3($\rho = 0.411, p = 0.046$)은 반구간 유의미한 정적 상관관계(positive correlation)를, 알파 주파수의 Fp1-F3($\rho = -0.502, p = 0.012$), 베타 1 주파수의 Fp2-F4($\rho = -0.476, p = 0.019$), Fp2-F8($\rho = -0.470, p = 0.021$), P3-T3($\rho = -0.430, p = 0.036$), P4-T4($\rho = -0.570, p = 0.004$) 영역, 베타 2 주파수의 P4-T4($\rho = -0.531, p = 0.008$), 세타 주파수의 Fp2-F4($\rho = -0.415, p = 0.044$), Fp2-F8($\rho = -0.422, p = 0.040$), P4-T4($\rho = -0.468, p = 0.021$)은 반구내 유의미한 부적 상관관계(negative correlation)를 나타냈다(Table 3, 4).

고 찰

본 연구에서는 태내 성 호르몬이 대뇌 편측화에 미치

는 영향을 알아보기 위하여 건강한 성인 남녀를 대상으로 오른손에서의 2D : 4D 비율과 성별에 따른 뇌파의 동시성과의 관련성을 조사 분석하였다. 각 주파수별 153개 전극쌍에서 성별 및 손가락 길이비에 따른 유의미한 동시성의 차이가 공통적으로 가장 많이 나타난 주파수 영역대의 전극쌍을 선정하여 결과에 제시하였다. 하지만 그 외에도 성별에 따라, 손가락 길이비에 따라 유의미한 차이를 나타낸 전극쌍의 수는 더 있었다.

성별에 따른 반구간 및 반구내 뇌파의 동시성 값에 대해 알아본 결과, 일부 대뇌 영역에서 여성의 반구간 동시성이 더 높았는데 이는 Marosi 등이³⁵⁾ 시행한 선행 연구 결과에 부합된다. 이러한 반구간 동시성은 참여자들의 각성수준³⁶⁾ 뿐 아니라 성별이나 연령³⁵⁾³⁷⁾³⁸⁾ 과제³⁹⁾와 같은 일부 요인들에 의해 영향을 받는다고 알려져 있다. 휴지기 상태의 뇌파는 특정 자극이나 과제가 주어진 후 변화된 뇌 활성화 정도를 비교하기 위해 측정된다.¹⁰⁾³⁶⁾ 반구간 동시성에서 나타나는 성차는 특정과제를 수행하는 동안 더 극명하게 나타난다고 한다. Beaumont 등³⁷⁾에 의하면 구두과제를 하는 동안 여성에게서 더 큰 반구간 동시성 변화가 나타났다고 한다. 마찬가지로 Wood 등⁴⁰⁾은 구두 정보를 외우는 동안 남성보다는 여성에게서 반구간 동시성 연합을 보고하였다. Azari 등은⁴¹⁾⁴²⁾ 반구간 상관관계에서의 성차를 PET 영상을 통해 휴지기 동안의 포도당 대사를 분석해봄으로써 확인하였는데, 여성에서 더 강한 반구간의 기능적 상호작용을 보인다고 하였다.

반구간 및 반구내 일부 전극쌍들 간에 성별 및 손가락 길이비에 따른 유의미한 동시성 차이가 나타났다는 결과는 반구간 연결성은 여성 및 여성형 손가락 길이비에서 더욱 우세할 것이며, 반구내 연결성은 남성 및 남성형 손가락 길이비에서 더욱 활발할 것이라는 본 연구의 가설을 부분적으로 지지해준다고 할 수 있다.

성별에 따른 뇌파의 동시성 값에서 유의미한 차이가 나타났을 뿐만 아니라 손가락 길이비 유형에 따른 뇌파의 동시성 값에서도 유의미한 차이가 나타났다. 손가락 길이비와 동시성 값에 대하여 Spearman 상관분석을 시행한 결과, 비록 통계적으로 유의미하지 않았던 전극쌍들까지 포함시키면 대체적으로 반구간에서는 손가락 길이비가 커질수록(즉, 여성형 손가락에 가까울수록) 동시성 값이 커지는 양상이 더 우세하였던 반면, 반구내에서는 손가락 길이비가 커질수록 동시성 값이 작아지는 양상을 보였다. 남성형, 여성형 손가락 길이비 간에 통계적으로

유의미한 차이를 보인 대뇌 부위를 선정하여 Spearman 상관분석을 다시 해보면, 통계적으로 유의미한 차이를 보인 전극쌍은 더욱 특정 부위로 압축된다(Fp2-T5, Fp1-F3, Fp2-F4, Fp2-F8, P4-T4). 이러한 결과는 Geschwind와 Galaburda⁷⁾의 태아기 테스토스테론이 뇌의 두 반구가 성장하는 속도에 영향을 미친다는 가정과 일치한다. 비록 2D : 4D 비율과 동시성 값 간의 유의미한 상관관계가 α , β 2, β 1 주파수 영역의 일부 전극쌍들에서 나타나고 있지만 2D : 4D 비율이 태내 테스토스테론의 양을 반영해주며, 제한적이기는 하지만 대뇌 편측화로서 그 효과를 반영한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 남성과 여성의 생물학적 성차 뿐 아니라 손가락 길이비에 따른 차이가 뇌파의 동시성에 반영되었는지를 보았다. Fig. 1과 2는 성별 및 손가락 길이비별 유의미한 차이가 있는 뇌 영역을 도식화하여 보여주고 있다. 여성 및 여성형 손가락 길이비 사이에는 우세한 동시성 값을 나타내는 부위가 대부분 겹치고 있는 반면에 (Fig. 1), 남성 및 남성형 손가락 길이비 간에는 특정 부위(특히 오른쪽 전전두엽 부위)에 한정되어 나타났다(Fig. 2, Fp1-F3, Fp2-F4, Fp2-F8). 안드로겐 수용체는 뇌의 광범한 영역에 분포되어 있는데, 특히 안드로겐 수용체 발현 세포들은 변연계를 구성하는 중격(Septum), 편도체(Amygdala)나 분계섬유줄핵(Bed nucleus of the

Stria Terminalis)에서 군집되어 있다.⁴³⁾ 하지만 편도체는 독자적으로 작동하지 않아서 뇌의 다른 부분들, 특히 전전두엽 피질(prefrontal cortex) 영역과 연결되어 있다.⁴⁴⁾ 편도체는 배외측전전두엽 피질(ventrolateral prefrontal cortex, 이하 vlPFC)과 해부학적으로 밀접하게 연결되어 있으며, 편도체가 자극-강화학습(stimulus-reinforcement learning)을 조율하기 위해 주의를 통제하는데 보다 밀접하게 관여한다면, 배외측전전두엽 피질은 유연성 과제(flexibility tasks)나 반응-역전(response-reversal) 수행에서 나타나는 자극-반응학습(stimulus-response learning)에 보다 밀접하게 관여한다.⁴⁵⁾ 따라서 남성 및 남성형 길이비에서 공통적으로 높은 동시성을 나타낸 부위가 전전두엽이라는 본 연구 결과는 테스토스테론 수용체 세포가 밀집되어 있는 편도체가 전전두엽 및 전두엽 피질과 활발하게 상호 작용하고 있음을 간접적으로나마 반영해준다고 생각해 볼 수 있다.

2D : 4D 비율과 관련한 기존의 국내 연구들로는 2D : 4D 비율과 공격성간의 관련성에 대한 연구들⁴⁶⁾⁴⁷⁾이 있으나 아직은 초보단계이다. 이 밖에도 2D : 4D 비율은 태아기의 성호르몬 수준 및 민감도를 반영해주는 신체적 지표로써 인간의 행동과 언어 능력, 수리 능력, 공간 지각 능력, 음악 능력을 비롯하여 체력과 달리기 속도, 생식 능력 등과도 관련이 있는 것으로 보고되고 있다.²⁾

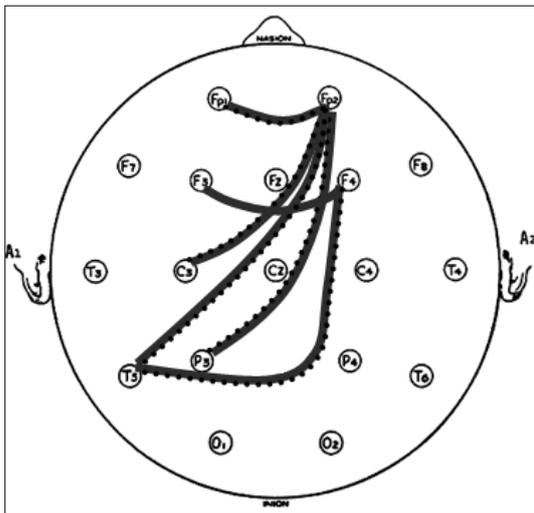


Fig. 1. Topographical representation of inter-hemispheric coherences in both male sex and masculine digit type. Solid lines represent coherences of female sex which are significantly higher than those of male sex. Broken lines represent coherences of feminine type which are significantly higher than those of masculine type.

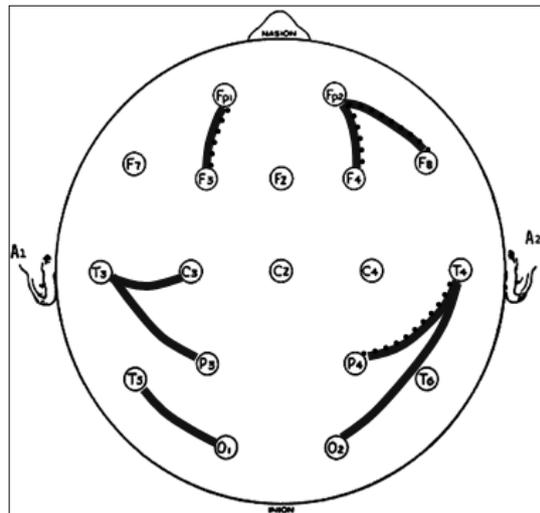


Fig. 2. Topographical representation of intra-hemispheric coherences in both male sex and masculine digit type. Solid lines represent coherences of male sex which are significantly higher than those of female sex. Broken lines represent coherences of masculine type which are significantly higher than those of feminine type.

공격성과 같은 성격 특성이나 다른 능력들은 비단 성호르몬의 영향 뿐 아니라 후천적인 사회적 환경의 영향을 받는다고 알려져 있다. 다시 말해서 출생 이후의 양육 및 환경 등 여러 요인들의 영향에 의해 영향을 받음으로써 습득되는 후천적인 요인이므로 성호르몬과 태내 환경의 영향을 받는 2D : 4D 비율과 상호간의 영향력은 높지 않을 것으로 생각할 수 있다.⁴⁶⁾ 따라서 본 연구에서는 후천적인 요인이 상대적으로 적은 영향을 미칠 것으로 판단된 대뇌의 편측화 정도와 2D : 4D 비율과의 관련성에 초점을 맞추었고, 그 관련성은 예측했던 대로 2D : 4D 비율이 남성형에 가까울수록 반구내 활성이 더 높은, 즉 보다 편측화된 결과로 나타났다.

2D : 4D 비율과 동시성 값간의 관련성에서 우리의 예측과는 다르게 반구간임에도 불구하고 남성의 동시성이 높게 나오거나[알파 주파수에서 C3-T6($p = 0.035$), P3-T4($p = 0.018$), O2-T3($p = 0.013$), O2-T5($p = 0.018$), T3-T4($p = 0.041$), T3-T6($p = 0.022$), 베타 1 주파수에서 P3-O2($p = 0.041$), O2-T3($p = 0.026$)] 반구내임에도 불구하고 여성의 동시성이 높게 나온 전극쌍들이[델타 주파수에서 F4-C4($p = 0.018$)] 극히 일부분에서 관찰되었다. 이는 대뇌 편측화에 성 호르몬 뿐만 아니라 두뇌 발달에 관련된 유전자나 유전자-환경 상호작용 역시 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 그러나 예외의 결과가 적었다는 것은 대뇌 편측화에 있어서 성 호르몬의 효과가 더욱 클 것이라는 우리의 가정을 지지해주고 있다. 실제로 Gobrogge 등⁴⁸⁾은 일란성과 이란성 쌍둥이를 대상으로 한 연구에서 2D : 4D 비율은 유전율이 높다고 보고하였으며, 2D : 4D 비율은 태아기 안드로겐과는 독립적으로 어떤 유전자들의 영향을 일부 받는다고 주장하였다.

본 연구의 제한점 및 향후 연구에 대한 제안으로는 첫째, 피험자의 수가 너무 적었다는 점이다. 따라서 일부 주파수 영역에서 나타난 성별이나 손가락 길이비 유형에 따른 뇌파의 동시성간의 관련성을 일반화하기에 어려울 수 있다. 특히 손가락 길이비에 따라 두 집단으로 나누었을 때 남성형 길이비 집단에서는 여성보다는 남성의 수가 더 많고, 여성형 길이비 집단에서는 남성보다는 여성의 수가 더 많았기 때문에 두 집단의 차이가 길이비에 의한 차이라기보다는 성별에 의한 차이일 가능성도 있다. 또한 동시성 차이 분석 결과에서 본페로니 교정을 한 후에는 성별에 따른 차이는 일부 유의미한 차이를 유지하

였으나, 2D : 4D 비율에 따른 차이는 더 이상 유의미한 차이를 보이지 않았다는 점이다. 성별 차이에 의한 가능성을 배제하기 위해서는 성별에 따른 충분한 참여자 수를 모집하고, 성별 안에서의 각각의 2D : 4D 비율에 따른 집단의 참여자 수도 충분히 확보하는 것이 중요하다. 또한 각각의 연령 대에서 충분한 수의 참여자들을 모집하여 성별 및 2D : 4D 비율에 따른 동시성의 차이와 2D : 4D 비율에 따른 동시성의 상관관계를 추가적으로 연구하는 것을 고려해 볼 수 있다. 둘째, 연구 참여자들의 태아기 혹은 발병 당시의 성호르몬 수치를 직접 측정하는 것이 아닌 간접적으로 2D : 4D 비율만 측정 하였으므로 이는 근본적인 한계점이라 할 수 있겠다. 성호르몬은 태생기에 두뇌의 해부학적 구조를 변화시킬 뿐만 아니라 유전자의 epigenetic 프로파일도 변화시키는 것으로 생각되고 있다⁴⁹⁾ 이는 생후 성호르몬의 변화 주기에 따른 행동의 변화에서 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 따라서 남성호르몬의 효과를 명확하게 확인하기 위해서는 2D : 4D 비율 뿐 아니라 실제 호르몬의 변화를 측정하여 성호르몬의 epigenetic 효과에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 이를 통해 호르몬의 수준이 두뇌 기능에 미칠 수 있는 영향을 살펴볼 수 있을 것이다. 셋째, 2D : 4D 비율은 태내 테스토스테론뿐만 아니라 유전적인 요인이 중요한 역할을 한다. 따라서 태내 성호르몬의 수준을 정확히 반영할 수 있는 생물학적 연구 방법론을 이용하여 이를 보완할 필요가 있다. 넷째, 비록 연구자 1인이 모든 대상자들의 손가락 길이를 직접 측정하였지만 0.01mm 단위까지 측정하는 과정에서 오차가 발생하였을 가능성도 배제할 수는 없다.

결론적으로, 일반 성인에게서 태내 테스토스테론을 반영하는 2D : 4D 비율과 뇌파의 동시성 값 사이에는 반구간에서의 유의미한 정적 상관관계와 반구내에서의 유의미한 부적 상관관계가 관찰되었다 이는 태내 테스토스테론이 대뇌 편측화에 중요한 역할을 하고 있다는 것을 시사한다. 현재까지 국내에서는 2D : 4D 비율과 관련된 연구는 정상 대조군에서는 남녀 간에 2D : 4D 비율이 유의하게 차이가 있었지만 정신분열병 환자에서는 유의한 차이가 없어 태아기 성호르몬의 이상이 정신분열병 발병에 영향을 줄 수 있지 않을까 하는 것을 시사하는 결과 보고²⁶⁾가 있을 뿐이다. 향후 손가락 길이비 등 태내 혹은 성장기 테스토스테론에 관한 연구는 대뇌 편측화 혹은 신경발달의 이상을 보이는 정신질환의 발생기전을

이해하는데 중요한 역할을 할 것으로 생각한다.

중심 단어 : 제2수지-제4수지 길이비율 · 뇌파의 동시성 · 대뇌편측화.

Acknowledgements

본 연구는 용인정신병원부설 용인정신의학연구소의 연구비 지원으로 이루어졌음.

Conflicts of interest

The authors have no financial conflicts of interest.

참고문헌

1. Manning JT, Stewart A, Bundred PE, Trivers RL. Sex and ethnic differences in 2nd to 4th digit ratio of children. *Early Hum Dev* 2004;80:161-168.
2. Manning JT. *Digit ratio: A pointer to fertility, behavior, and health*. New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press;2002. ●검색안됨●
3. Kondo T, Zákány J, Innis JW, Duboule D. Of fingers, toes and penises. *Nature* 1997;390:29.
4. Chamberlain NL, Driver ED, Miesfeld RL. The length and location of CAG trinucleotide repeats in the androgen receptor N-terminal domain affect transactivation function. *Nucleic Acids Res* 1994;22:3181-3186.
5. Putz DA, Gaulin SJC, Sporter RJ, McBurney DH. Sex hormones and finger length: What does 2D : 4D indicate? *Evolution and human behavior* 2004;25:182-199. ●
6. Toga AW, Thompson PM. Mapping brain asymmetry. *Nat Rev. Neurosci* 2003;4:37-48.
7. Geschwind N, Galaburda AM. Cerebral lateralization. Biological mechanisms, associations, and pathology: III. A hypothesis and a program for research. *Arch Neurol* 1985;42:634-654.
8. Suk SH, Son IH, Kwak YT. Usefulness of occipital EEG spectral profile in the differential diagnosis of Alzheimer type and vascular dementia. *Korean Neurol Assoc* 2000;18:292-297.
9. Kwak YT, Hahn DS, Han IW, Sam BJ. EEG coherence in Alzheimer's disease. *J Korean Neuro-I Assoc* 2003; 21:163-168.
10. Volf NV, Razumnikova OM. Sex differences in EEG coherence during a verbal memory task in normal adults. *Int J Psychophysiol* 1999;34:113-122.
11. Thatcher RW, Krause PJ, Hrybyk M. Cortico-cortical associations and EEG coherence: a two-compartmental model. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1986;64: 123-143.
12. Csathó A, Osváth A, Bicsák E, Karádi K, Manning J, Kállai J. Sex role identity related to the ratio of second to fourth digit length in women. *Biol Psychol* 2003;62:147-156.
13. Alter M. Is hyperploidy of sex chromosomes associated with reduced total finger ridge count? *Am J Hum Genet* 1965;17:473-475.
14. Kraemer B, Noll T, Delsignore A, Milos G, Schnyder U, Hepp U. Finger length ratio(2D : 4D) and dimensions of sexual orientation. *Neuropsychobiology* 2006;53:210-214.
15. Manning JT, Churchill AJ, Peters M. The effects of sex, ethnicity, and sexual orientation on self-measured digit ratio (2D : 4D). *Arch Sex Behav* 2007;36:223-233.
16. Benderlioglu Z, Nelson RJ. Digit length ratios predict reactive aggression in women, but not in men. *Horm Behav* 2004;46:558-564.
17. Bailey AA, Hurd PL. Finger length ratio (2D : 4D) correlates with physical aggression in men but not in women. *Biol Psychol* 2005;68:215-222.
18. Hampson E, Ellis CL, Tenk CM. On the relation between 2D : 4D and sex-dimorphic personality traits. *Arch Sex Behav* 2008;37:133-144.
19. Sanders G, Bereczkei T, Csatho A, Manning J. The ratio of the 2nd to 4th finger length predicts spatial ability in men but not women. *Cortex* 2005;41:789-795.
20. van Anders SM, Hampson E. Testing the prenatal androgen hypothesis: measuring digit ratios, sexual orientation, and spatial abilities in adults. *Horm Behav* 2005; 47:92-98.
21. Fink B, Brookes H, Neave N, Manning JT, Geary DC. Second to fourth digit ratio and numerical competence in children. *Brain Cogn* 2006;61:211-218.
22. Manning JT. The ratio of 2nd to 4th digit length and performance in skiing. *J Sports Med Phys Fitness* 2002;42: 446-450.
23. Manning JT, Taylor RP. Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans. *Evol Hum Behav* 2001;22:61-69.
24. Fink B, Grammer K, Mitteroecker P, Gunz P, Schaefer K, Bookstein FL, et al. Second to fourth digit ratio and face shape. *Proc Biol Sci* 2005;272:1995-2001.
25. Choi KH, Kwon SO. Sex Differences in Ratio of the Length of the Second to Fourth Digits (2D : 4D) 2007;15: 155-159. ●검색안됨●
26. Cho HW, Chae JH, Lee YS. The differences of 2nd to 4th digit length ratio between schizophrenia patients and normal controls. *J Korean Neuropsychiatr Assoc* 2009;48: 496-501.
27. Kawasaki Y, Suzuki M, Takahashi T, Nohara S, McGuire PK, Seto H, et al. Anomalous cerebral asymmetry in patients with schizophrenia demonstrated by voxel-based morphometry. *Biol Psychiatry* 2008;63:793-800.
28. Rapoport JL, Addington AM, Frangou S, Psych MR. The neurodevelopmental model of schizophrenia: update 2005. *Mol Psychiatry* 2005;10:434-449.
29. Arato M, Frecska E, Beck C, An M, Kiss H. Digit length pattern in schizophrenia suggests disturbed prena-

- tal hemispheric lateralization. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 2004;28:191-194.
30. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971; 9:97-113.
 31. Guevara MA, Corsi-Cabrera M. EEG coherence or EEG correlation? *Int J Psychophysiol* 1996;23:145-153.
 32. Davis AE, Wada JA. Hemispheric asymmetry: frequency analysis of visual and auditory evoked responses to non-verbal stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1974;37:1-9.
 33. Shaw JC, O'Connor KP, Ongley C. The EEG as a measure of cerebral functional organization. *Br J Psychiatry* 1977;130:260-264.
 34. Adler G, Brassens S, Jajcevic A. EEG coherence in Alzheimer's dementia. *J Neural Transm* 2003;110:1051-1058.
 35. Marosi E, Harmony T, Becker J, Bernal J, Reyes A, Rodriguez M, et al. Sex differences in EEG coherence in normal children. *Int J Neurosci* 1993;72:115-121.
 36. Wada Y, Nanbu Y, Kadoshima R, Jiang ZY, Koshino Y, Hashimoto T. Interhemispheric EEG coherence during photic stimulation: sex differences in normal young adults. *Int J Psychophysiol* 1996;22:45-51.
 37. Beaumont JG, Mayes AR, Rugg MD. Asymmetry in EEG alpha coherence and power: effects of task and sex. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1978;45:393-401.
 38. Wada Y, Takizawa Y, Jiang ZY, Yamaguchi N. Gender differences in quantitative EEG at rest and during photic stimulation in normal young adults. *Clin Electroencephalogr* 1994;25:81-85.
 39. Jausovec N, Jausovec K. EEG activity during the performance of complex mental problems. *Int J Psychophysiol* 2000;36:73-88.
 40. Wood FB, Flowers DL, Naylor CE. Cerebral laterality in functional neuroimaging. *Cerebral Laterality: Theory and Research. The Toledo Symposium. Erlbaum, Hillside, NJ, pp.103-115. ●검색안됨●*
 41. Azari NP, Rapoport SI, Grady CL, DeCarli C, Haxby JV, Schapiro MB, et al. Gender differences in correlations of cerebral glucose metabolic rates in young normal adults. *Brain Res* 1992;574:198-208.
 42. Azari NP, Pettigrew KD, Pietrini P, Murphy DG, Horowitz B, Schapiro MB. Sex differences in patterns of hemispheric cerebral metabolism: a multiple regression/discriminant analysis of positron emission tomographic data. *Int J Neurosci* 1995;81:1-20.
 43. Becker JB, Berkley KJ, Geary N, Hampson E, Herman JP, Young EA. Sex differences in the brain from genes to behavior. New York: Oxford University Press;2008.
 44. Simon Baron-Cohen. *The Essential Difference. Brockman, Inc., New York;2003. ●검색안됨●*
 45. Guyer AE, Lau JY, McClure-Tone EB, Parrish J, Shiffrin ND, Reynolds RC, et al. Amygdala and ventrolateral prefrontal cortex function during anticipated peer evaluation in pediatric social anxiety. *Arch Gen Psychiatry* 2008;65:1303-1312.
 46. Kim HJ, Lee WK, Kim S, Lee SB, Park JW, Lee YS. The relationship between 2nd digit/4th digit ratio and empathy, aggression, and sex role in college students. *J Korean Neuropsychiatr Assoc* 2010;49:210-216.
 47. Shin AY, Lee YS, Chae JH. A relationship between 2nd to 4th digit length ratio and aggression related sports entries characteristics in female athletics of Korean national teams. *Korean J Biol Psychiatry* 2010;17:37-43.
 48. Gobrogge KL, Breedlove SM, Klump KL. Genetic and environmental influences on 2D : 4D finger length ratios: a study of monozygotic and dizygotic male and female twins. *Arch Sex Behav* 2008;37:112-118.
 49. Petronis A. Human morbid genetics revisited: relevance of epigenetics. *Trends Genet* 2001;17:142-146.