

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATHALIA FERREIRA CAMARCO

ANDROGENIZAÇÃO PRÉ-NATAL EM LUTADORES DE MMA: MARCADORES DE
PERFORMANCE ESPORTIVA E VARIÁVEIS PSICOMÉTRICAS

CURITIBA

2022

NATHALIA FERREIRA CAMARÇO

ANDROGENIZAÇÃO PRÉ-NATAL EM LUTADORES DE MMA: MARCADORES DE
PERFORMANCE ESPORTIVA E VARIÁVEIS PSICOMÉTRICAS

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do
título de Doutora do Programa de Pós-Graduação em
Fisiologia, Setor de Ciências Biológicas, Universidade
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Anderson J. M. Andrade

Co-orientador: Prof. Evando Ribeiro Jr

CURITIBA

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Camarço, Nathalia Ferreira

Androgenização pré-natal em lutadores de MMA : marcadores de performance esportiva e variáveis psicométricas / Nathalia Ferreira Camarço. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Fisiologia.

Orientador: Prof. Anderson J. M. Andrade.

Coorientador: Prof. Evando Ribeiro Jr.

1. Esportes. 2. Combate. 3. Razão digital. 4. Agressividade (Psicologia). 5. Personalidade. I. Andrade, Anderson Joel Martino, 1977-. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Fisiologia. III. Título.

Bibliotecária: Giana Mara Seniski Silva. CRB-9/1406

ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DOUTORADO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA EM FISILOGIA

No dia vinte e sete de outubro de dois mil e vinte e dois às 14:00 horas, na sala Auditório do Departamento de Fisiologia (Sala 103), Setor de Ciências Biológicas - Departamento de Fisiologia, foram instaladas as atividades pertinentes ao rito de defesa de tese da doutoranda **NATHALIA FERREIRA CAMARÇO**, intitulada: "**Androgenização pré-natal em lutadores de MMA: marcadores de performance esportiva e variáveis psicométricas**", sob orientação do Prof. Dr. ANDERSON JOEL MARTINO ANDRADE. A Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação FISILOGIA da Universidade Federal do Paraná, foi constituída pelos seguintes Membros: ANDERSON JOEL MARTINO ANDRADE (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ), RAFAEL DOS REIS VIEIRA OLHER (CENTRO UNIVERSITARIO DO PLANALTO CENTRAL APPARECIDO DOS SANTOS), AMANDA CAROLINE VENTURELLI (UNIVERSIDADE CESUMAR), RICARDO FERNANDEZ PEREZ (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ). A presidência iniciou os ritos definidos pelo Colegiado do Programa e, após exarados os pareceres dos membros do comitê examinador e da respectiva contra argumentação, ocorreu a leitura do parecer final da banca examinadora, que decidiu pela **APROVAÇÃO**. Este resultado deverá ser homologado pelo Colegiado do programa, mediante o atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca dentro dos prazos regimentais definidos pelo programa. A outorga de título de doutora está condicionada ao atendimento de todos os requisitos e prazos determinados no regimento do Programa de Pós-Graduação. Nada mais havendo a tratar a presidência deu por encerrada a sessão, da qual eu, ANDERSON JOEL MARTINO ANDRADE, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim e pelos demais membros da Comissão Examinadora.

CURITIBA, 27 de Outubro de 2022.

Assinatura Eletrônica

01/11/2022 11:23:52.0

ANDERSON JOEL MARTINO ANDRADE

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

03/11/2022 15:24:00.0

RAFAEL DOS REIS VIEIRA OLHER

Avaliador Externo (CENTRO UNIVERSITARIO DO PLANALTO
CENTRAL APPARECIDO DOS SANTOS)

Assinatura Eletrônica

03/11/2022 13:50:03.0

AMANDA CAROLINE VENTURELLI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE CESUMAR)

Assinatura Eletrônica

27/10/2022 22:06:17.0

RICARDO FERNANDEZ PEREZ

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação FISIOLÓGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **NATHALIA FERREIRA CAMARÇO** intitulada: "**Androgenização pré-natal em lutadores de MMA: marcadores de performance esportiva e variáveis psicométricas**", sob orientação do Prof. Dr. ANDERSON JOEL MARTINO ANDRADE, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Outubro de 2022.

Assinatura Eletrônica

01/11/2022 11:23:52.0

ANDERSON JOEL MARTINO ANDRADE

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

03/11/2022 15:24:00.0

RAFAEL DOS REIS VIEIRA OLHER

Avaliador Externo (CENTRO UNIVERSITARIO DO PLANALTO
CENTRAL APPARECIDO DOS SANTOS)

Assinatura Eletrônica

03/11/2022 13:50:03.0

AMANDA CAROLINE VENTURELLI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE CESUMAR)

Assinatura Eletrônica

27/10/2022 22:06:17.0

RICARDO FERNANDEZ PEREZ

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO FISIOLÓGIA -
40001016072P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação FISIOLÓGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **NATHALIA FERREIRA CAMARÇO** intitulada: **"Androgenização pré-natal em lutadores de MMA: marcadores de performance esportiva e variáveis psicométricas"**, sob orientação do Prof. Dr. ANDERSON JOEL MARTINO ANDRADE, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Outubro de 2022.

Assinatura Eletrônica
01/11/2022 11:23:52.0

ANDERSON JOEL MARTINO ANDRADE
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
03/11/2022 15:24:00.0

RAFAEL DOS REIS VIEIRA OLHER
Avaliador Externo (CENTRO UNIVERSITARIO DO PLANALTO
CENTRAL APPARECIDO DOS SANTOS)

Assinatura Eletrônica
03/11/2022 13:50:03.0

AMANDA CAROLINE VENTURELLI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE CESUMAR)

Assinatura Eletrônica
27/10/2022 22:06:17.0

RICARDO FERNANDEZ PEREZ
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu orientador, Anderson, por sempre ter tido sensibilidade na condução da orientação, tornando o caminho de aprendizado leve, na medida do possível. Ao meu co-orientador, Evaldo, por ter sempre compartilhado seu conhecimento, me incentivado o pensar científico, estimulando o senso crítico. Aos amigos e colegas da pós-graduação que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, sem os quais essa finalização não seria possível. Aos demais professores, técnicos e funcionários do PPGFisio por todo o suporte e acolhimento.

À minha família que sempre estimulou a minha formação acadêmica e entendeu a minha distância em tantos momentos. Ao meu amigo/irmão Henrique que trilhou comigo toda a caminhada acadêmica desde a graduação, a conclusão deste trabalho não seria possível sem o seu apoio. Ao meu amigo Ivo, a quem conheci no mestrado e se tornou uma grande inspiração acadêmica, obrigada por todo o suporte na escrita do artigo e por não me deixar desanimar. À Deborah, minha terapeuta, por proporcionar que eu enxergasse o propósito deste trabalho nos meus momentos de dificuldade.

À todas as pessoas queridas com as quais eu compartilhei/compartilho a vida e que, de várias maneiras, estiveram comigo em momentos de euforia, insights, desânimo, foco e todos os sentimentos que me atravessaram no desenvolvimento desse trabalho. Eu nunca vou me esquecer de vocês, obrigada.

EPÍGRAFE

“As categorias de identidade nunca são meramente descritivas, mas sempre normativas e, como tal, são excludentes (...). É o conjunto da civilização que elabora esse produto intermediário entre o macho e o castrado que qualificam de feminino”. (Judith Butler, 1967)

RESUMO

A proporção entre os dedos indicador e anelar (2D:4D) está relacionada à testosterona pré-natal (T) e ao desempenho esportivo. Poucas investigações exploraram a 2D:4D na determinação do desempenho potencial de indivíduos em esportes de força, especificamente esportes de combate. Este estudo comparou 2D:4D entre atletas e não atletas de artes marciais mistas (MMA) e investigou a associação entre (1) força de preensão palmar (FPP) e massa magra (MM) com 2D:4D em atletas de MMA e (2) variáveis e 2D:4D em atletas e não atletas de MMA. No total, 122 homens participaram deste estudo (53 não atletas, 45 profissionais e 24 lutadores amadores). A 2D:4D foi medida com um paquímetro, a FPP foi avaliada com um dinamômetro e as variáveis psicométricas foram avaliadas por meio de questionários. Atletas apresentaram valores medianos significativamente ($p < 0,05$) menores de 2D:4D na mão direita ($0,95 \pm 0,04$) e esquerda ($0,96 \pm 0,03$) em comparação com não atletas, ($0,97 \pm 0,03$) e ($0,99 \pm 0,03$), respectivamente. Observamos que 2D:4D da mão esquerda correlacionou-se negativamente com FPP ($r = -0,43$; $p < 0,05$) e massa magra ($r = -0,49$; $p < 0,05$) em atletas profissionais. Atletas profissionais também apresentaram diferenças significativas (* $p < 0,05$; ** $p < 0,001$) nas variáveis psicométricas em comparação com não atletas para (1) amabilidade**, valores medianos (intervalo interquartil) = $-0,11$ ($-0,19 - 0,07$) e $0,2$ ($-0,09 - 0,33$), respectivamente; (2) raiva**, média $\pm$ erro padrão = $2,40 \pm 0,12$ e $2,89 \pm 0,89$, respectivamente; e (3) abertura*, média $\pm$ erro padrão = $0,17 \pm 0,04$ e $-0,006 \pm 0,04$, respectivamente. No entanto, não observamos associação entre variáveis psicométricas ou vitórias com 2D:4D. Em conjunto com outras medidas, 2D:4D pode ser útil para determinar o potencial atletismo de um atleta de MMA.

Palavras-chave: esportes de combate; razão digital; força de preensão palmar; agressividade; personalidade.

ABSTRACT

The digit ratio (2D:4D) is related to prenatal testosterone (T) and sports performance. Few investigations have explored 2D:4D in determining the potential performance of individuals in power-based sports, specifically combat sports. This study compared 2D:4D between mixed martial arts (MMA) athletes and non-athletes and investigated the association between (1) handgrip strength (HGS) and lean body mass (LBM) with 2D:4D in MMA athletes and (2) psychometric variables and 2D:4D in MMA athletes and non-athletes. In total, 122 men participated in this study (53 non-athletes, 45 professionals, and 24 amateur fighters). The 2D:4D was measured using a caliper, HGS was assessed with a dynamometer, and psychometric variables were evaluated using questionnaires. Athletes displayed significantly ($p < 0.05$) lower median values of right (0.95 ± 0.04) and left (0.96 ± 0.03) 2D:4D in comparison with non-athletes, (0.97 ± 0.03) and (0.99 ± 0.03), respectively. We observed that left hand 2D:4D was negatively correlated with HGS ($r = -0.43$; $p < 0.05$) and lean body mass ($r = -0.49$; $p < 0.05$) in professional athletes. Professional athletes also displayed significant differences (* $p < 0.05$; ** $p < 0.001$) in psychometric variables compared to non-athletes for (1) agreeableness**, median values (interquartile range) = -0.11 (-0.19 – 0.07) and 0.2 (-0.09 – 0.33), respectively; (2) anger**, mean $\pm$ standard error = 2.40 ± 0.12 and 2.89 ± 0.89 , respectively; and (3) openness*, mean $\pm$ standard error = 0.17 ± 0.04 and -0.006 ± 0.04 , respectively. However, we did not observe an association between psychometric variables or wins with 2D:4D. In conjunction with other measures, 2D:4D is valuable in determining the potential athleticism of an MMA athlete.

Keywords: combat sports; digit ratio; handgrip strength; aggressiveness; personality

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

INTRODUÇÃO

Figura 1. Determinação sexual e diferenciação sexual no ser humano.....	15
Figura 2. Diagrama esquemático dos pontos anatômicos utilizados para medir a AGD.....	16
Figura 3. Classificação visual de radiografias dos tipos de mãos.....	17
Figura 4. Diagrama esquemático de medição direta do comprimento dos dedos das mãos.....	18
Figura 5. Delineamento experimental do estudo.....	26

ARTIGO CIENTÍFICO

Figure 1. Sample distribution and dependent variables.....	34
Figure 2. Median and interquartile ranges for right (a) and left (b) 2D:4D ratios in athletes and non- athletes.....	38
Figure 3. (a) Spearman's correlation test between LBM and right 2D:4D among professional MMA athletes. (b) Spearman's correlation test between LBM and left 2D:4D among professional MMA athletes. (c) Spearman's correlation test between the HGS index and right 2D:4D among professional and amateur MMA athletes. (d) Spearman's correlation test between the HGS index and left 2D:4D among professional and amateur MMA athletes.....	39
Figure 4. (a) Median and interquartile ranges for BFI agreeableness between groups of professional athletes and non-athletes. (b) Mean and standard error for BFI openness between groups of professional athletes and non-athletes. (c) Mean and standard error for BPAQ anger between groups of professional athletes and non-athletes.....	39
Figure 5. (a,b) Spearman's correlation between right 2D:4D and BFI agreeableness; (c,d) BFI openness and BPAQ anger (e,f) in professional MMA athletes + non-athletes.....	40
Figure 6. Overview of the main findings involved in MMA athletes.....	42

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO

Table 1. Sample characterization and descriptive statistics.....	38
Table 2. Association between prenatal androgenization and winning outcome.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D:4D - Razão digital

BDHI - *Buss- Durkee Hostility Inventory*

BFI - *Big Five Inventory*

BFIdesv - Desvio padrão individual

BFImed - Índice de aquiescência individual

BPAQ - *Buss-Perry Questionnaire*

FPP - Força de Preensão Palmar

HAC - Hiperplasia Adrenal Congênita

IMC - Índice de Massa Corporal

MG - Massa Gorda

MM – Massa Magra

MMA - Artes Marciais Mistas

T - Testosterona

APRESENTAÇÃO

Esta tese está apresentada em modelo misto, no qual os resultados estão apresentados sob a forma de artigo científico. Após a Introdução, Objetivos e Métodos há uma seção contendo o Artigo em língua inglesa. Em sequência há uma seção de Considerações Finais, seguida de todas as referências utilizadas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 ANDROGENIZAÇÃO PRÉ -NATAL	14
1.2 ASSOCIAÇÃO DA ANDROGENIZAÇÃO PRÉ-NATAL E 2D:4D.....	15
1.3 ASSOCIAÇÃO DE 2D:4D COM AGRESSIVIDADE E TRAÇOS DE PERSONALIDADE.....	18
1.4 ASSOCIAÇÃO DE 2D:4D COM FORÇA E PERFORMANCE: O MMA.....	21
2 OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVO GERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
3 MÉTODOS.....	25
3.1 PARTICIPANTES.....	25
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	26
3.3 MEDIDAS E AVALIAÇÃO 2D:4D.....	26
3.4 FORÇA DE PREENSÃO PALMAR.....	27
3.5 QUESTIONÁRIOS	28
3.5.1 TRAÇOS DE PERSONALIDADE – <i>Big Five Inventory</i>	28
3.5.2 AGRESSIVIDADE – <i>Buss Perry Questionnaire</i>	29
3.6 ANÁLISE DE DADOS	30
4 ARTIGO CIENTÍFICO.....	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
6 REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

1.1 ANDROGENIZAÇÃO PRÉ-NATAL

As primeiras semanas da gestação compreendem um importante período no desenvolvimento humano, pois incluem eventos críticos para a diferenciação de diversos órgãos e sistemas e para a diferenciação sexual (Figura 1). O ambiente endócrino, em particular a exposição a andrógenos, nesse período é determinante para os processos de masculinização da genitália interna e externa e, subsequentemente, para a diferenciação sexual do sistema nervoso central. O processo de diferenciação sexual também pode ser chamado de masculinização visto que, morfológicamente, a programação pré-estabelecida é de desenvolvimento da genitália feminina. (Sharpe, 2006).

As primeiras etapas no processo de diferenciação sexual envolvem a determinação do sexo genético no momento da fertilização e a subsequente diferenciação gonadal, na qual a ação de fatores de transcrição sexo-específicos promove a diferenciação da gônada bipotencial em ovário ou testículo. Em particular, a expressão inicial do gene *SRY* nas células somáticas da gônada masculina e de outros fatores de transcrição específicos, como *SOX-9*, promovem a diferenciação testicular (Potter et al., 2017). Em seguida, para que a masculinização aconteça, é necessária a ação de hormônios produzidos pelo testículo fetal, como (1) o hormônio antimuleriano, que é secretado pelas células de Sertoli e promove a regressão dos ductos de Müller impedindo o desenvolvimento embrionário de órgãos genitais femininos e (2) testosterona, que é secretada pelas células de Leydig e promove a transformação dos Ductos de Wolff em órgãos genitais internos masculinos. (Sharpe, 2006).

Além da ação local, a testosterona é secretada na corrente sanguínea e age também em outras células que possuem receptores, exercendo seus efeitos na genitália externa para induzir a formação de pênis e escroto. Como os níveis de testosterona na corrente sanguínea são relativamente baixos, uma etapa de 'amplificação' hormonal, por meio da enzima 5 α -redutase tipos I e II, é ativada localmente em tecidos alvo de andrógeno convertendo testosterona em 5 α diidrotestosterona (DHT), que possui potencial maior de ativação de receptores androgênicos (Sultan et al., 2001; Tsuruo, 2005)

Dessa maneira, é inferido que a ausência ou presença de testosterona e sua ligação nos receptores agindo localmente e impedindo a degeneração programada dos ductos de Wolff dos testículos, é o principal fator determinante de masculinização dos órgãos genitais no ambiente intrauterino. Esse processo pode ser chamado de androgenização pré-natal (Sharpe, 2006).

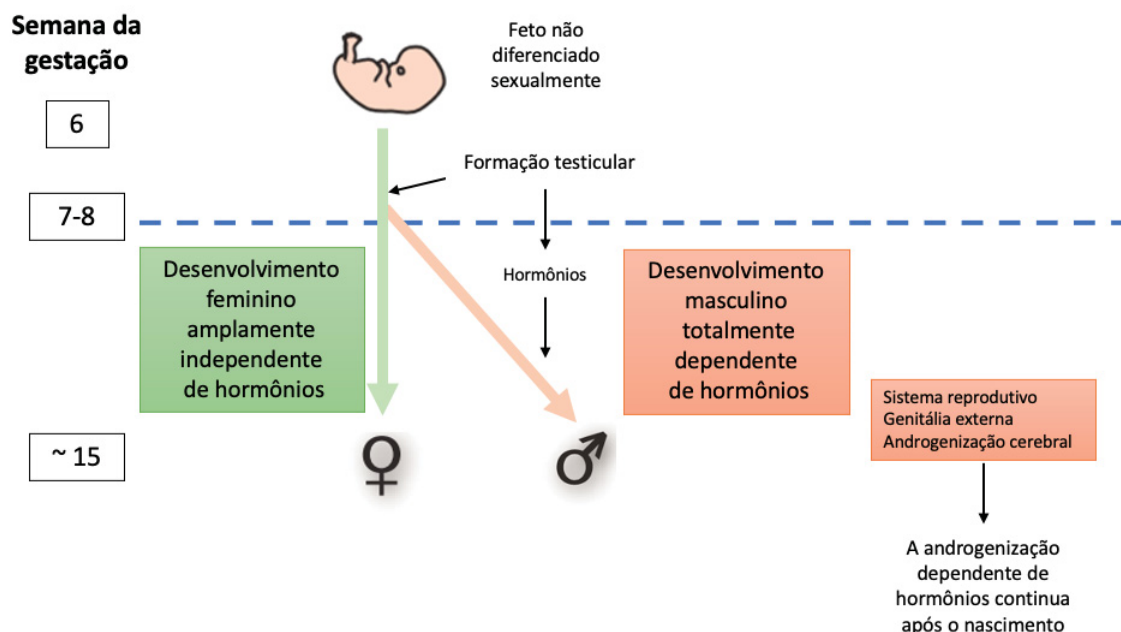


Figura 1 – Determinação sexual e diferenciação sexual no ser humano. FONTE: adaptado de Sharpe, 2006.

1.2 ASSOCIAÇÃO DA ANDROGENIZAÇÃO PRÉ-NATAL E 2D:4D

Como resposta a menores concentrações de testosterona durante o período pré-natal, a androgenização pode ser comprometida afetando anatomicamente o desenvolvimento reprodutivo, o que pode ser evidenciado do nascimento até a idade adulta por meio de marcadores macroscópicos como o tamanho dos órgãos reprodutivos, tamanho dos testículos e por meio da diminuição da distância anogenital (AGD). A AGD é sexualmente dimórfica em seres humanos e outros mamíferos, com machos apresentando uma distância cerca de duas vezes maior que as fêmeas (Dean & Sharpe, 2013), sendo assim, estudos utilizam a AGD em humanos como marcador da exposição pré-natal a andrógenos (Huang et al., 2009; Papadopoulou et al., 2013; Salazar-Martinez et al., 2004; Sathyanarayana et al., 2010; Thankamony et al., 2016). A Figura 2 a seguir esquematiza como é feita a medida.

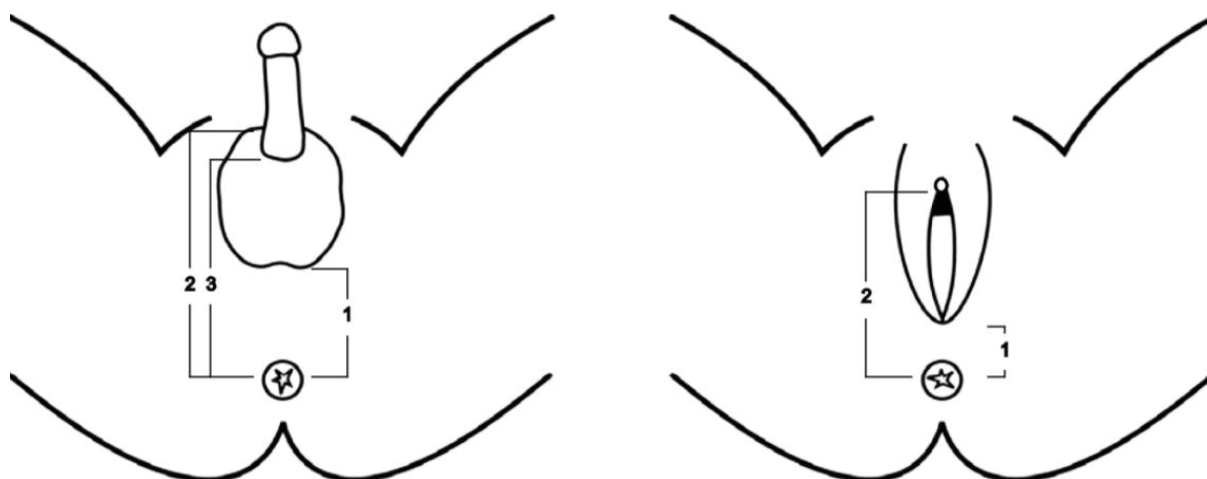


Figura 2 - Diagrama esquemático dos pontos anatômicos utilizados para medir a AGD. Em homens, a AGD é medida do centro do ânus até o ponto mais posterior da linha média da junção perineoscrotal (1), a base anterior do pênis (2) ou a base posterior do pênis na junção penoscrotal (3). Em mulheres, a AGD é medida do centro do ânus à convergência posterior da fúrcula (1) ou ao clitóris (2). A medição ‘1’ é conhecida como ‘distância anoscrotal’ em homens e ‘distância anofurcular’ em mulheres é o método comumente usado em estudos epidemiológicos. FONTE: Thankamony et al., 2016.

Alternativamente à AGD, uma maneira aplicável e oportuna de se observar a androgenização pré-natal é por meio da razão entre o dedo indicador (2D) e o dedo anelar (4D), uma medida investigada em diversas populações e faixas etárias por se configurar até a 14ª semana de gestação (período que compreende a principal janela de diferenciação e desenvolvimento sexual embrionário/fetal) e se estabilizar a partir de então, até a idade adulta (Galis et al., 2010)

O mecanismo pelo qual o comprimento dos dedos é considerado um marcador da exposição à testosterona similar aos marcadores genitais, se explica parcialmente pela ação de dois grupos de genes *HOXa* e *HOXd*, envolvidos no desenvolvimento de ambos, os dedos e os genitais (Peichel et al., 1997). A segunda explicação é que a variação alélica na sensibilidade do receptor de andrógeno influencia a proporção dos dedos. Menores razões 2D:4D estão associadas a alelos de receptores de andrógenos com menos repetições de microssatélites de

pares de bases CAG no domínio terminal (John T. Manning et al., 2003). O aumento do número de tais repetições produz receptores com menor sensibilidade aos andrógenos (Chamberlain et al., 1994; Kazemi-Esfarjani et al., 1995)

Mais evidências de uma relação entre a concentração de andrógenos durante o desenvolvimento e a proporção de dedos vêm de crianças com 17 α -hidroxipropilplasia adrenal congênita (HAC). A HAC faz com que o indivíduo seja exposto a níveis aumentados de andrógenos desde o início da gestação até o período neonatal precoce (S A Berenbaum & Resnick, 1997). Tanto os homens quanto as mulheres com HAC e, portanto, com altos níveis de andrógenos durante o desenvolvimento intrauterino, exibem menores razões 2D:4D do que os controles (Brown et al., 2002; Okten et al., 2002).

Além do mais, identificou-se a presença de maior quantidade de receptores androgênicos no dedo anelar (4D) que, quando ativados pela testosterona pré-natal, aumentam a proliferação de condrócitos (Zheng & Cohn, 2011), o que resultaria na tendência ao aumento deste dígito e, portanto, menor razão 2D:4D em pessoas mais androgenizadas, de uma maneira geral. Contudo, é importante destacar que existe grande sobreposição dessa medida na população, de forma que homens e mulheres podem apresentar as três variações da razão 2D:4D (maior, menor e igual a 1) (George & Study, n.d.; PHELPS, 1952) conforme Figura 3, a seguir.

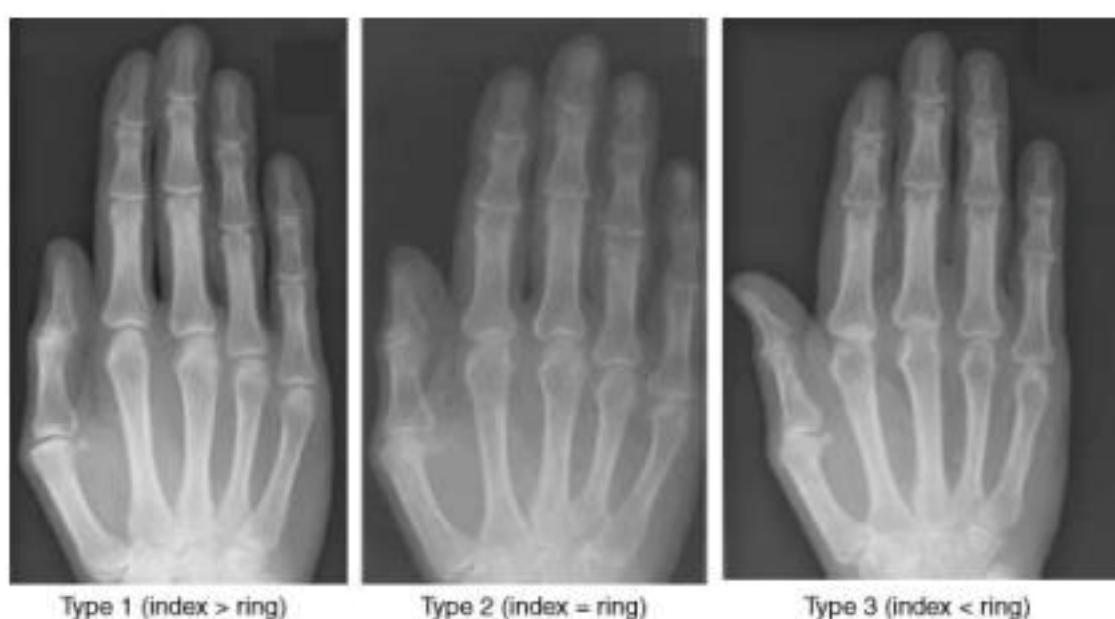


Figura 3 - Classificação visual de radiografias dos tipos de mãos. FONTE: Robertson et al., 2008.

Historicamente as pesquisas utilizando medidas da razão 2D:4D incluem uma variedade de técnicas de medição, incluindo a medição direta do comprimento dos dedos das mãos (J. T. Manning et al., 1998; John T. Manning & Taylor, 2001) e a medição indireta, a partir de fotocópias/digitalizações (Lutchmaya et al., 2004; Trivers et al., 2006) ou ainda, inspeções visuais simples a partir de radiografias das mãos que, apesar de apresentarem maior viés do que as medidas diretas devido ao posicionamento da mão, podem ser úteis em estudos epidemiológicos (Robertson et al., 2008).

A medição direta é realizada em duplicata utilizando paquímetro, do ponto médio na prega ventral proximal à palma da mão até a ponta do dedo, conforme Figura 3.

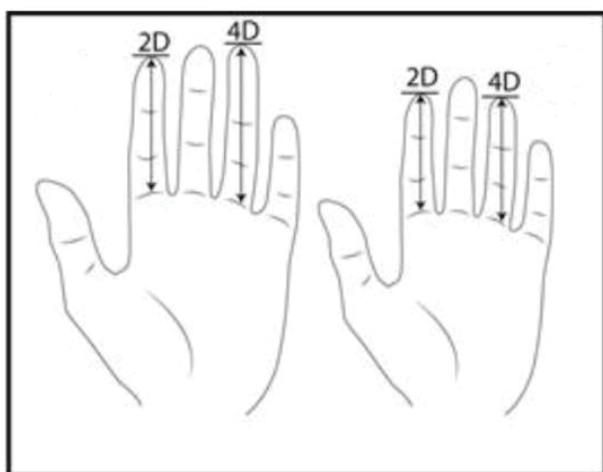


Figura 4. Diagrama esquemático de medição direta do comprimento dos dedos das mãos.

1.3 ASSOCIAÇÃO DE 2D:4D COM AGRESSIVIDADE DE TRAÇOS DE PERSONALIDADE

Os comportamentos conhecidos como sexualmente dimórficos já são bastante estudados em modelo animal e aparentemente são influenciados pela androgenização pré-natal, considerando que as conexões neurais e estruturas cerebrais responsáveis pelo comportamento formadas *in utero* sofrem ação de andrógenos na diferenciação pré-natal (DAI, et al., 2015).

Em humanos, há evidências convincentes de que os andrógenos pré-natais têm grandes efeitos masculinizantes sobre a atividade, lazer e interesses ocupacionais ao longo da vida, entretanto, há pouca evidência direta sobre as maneiras pelas quais o possível comportamento sexual dimórfico é influenciado pelos hormônios sexuais durante o desenvolvimento pré-natal, além disso, os dados existentes não são fáceis de interpretar, considerando o viés das experiências sociais relacionadas ao gênero (Sheri A. Berenbaum & Beltz, 2011).

Em homens, um estudo examinou a relação entre o traço de agressão, testado por meio do questionário Buss-Perry Questionnaire (BPQ), e a razão do comprimento dos dedos em homens e mulheres. Homens com proporções de comprimento dos dedos mais baixas tiveram escores de traços de agressão física mais altos (Bailey & Hurd, 2005).

Existem dois estudos intrigantes de imagem sobre os efeitos dos andrógenos em pessoas com Hiperplasia Adrenal Congênita (HAC), condição que exposição a níveis mais altos de hormônios androgênicos, no cérebro. O primeiro avaliou a estrutura e função cerebral em pessoas com HAC. Tanto meninos quanto meninas com HAC apresentaram menor volume da amígdala, responsável por respostas emocionais relativas ao comportamento social e umas das principais áreas do controle da agressividade, do que os controles pareados por sexo e idade, mas sem outras diferenças na estrutura cerebral (Merke et al., 2003); outra amostra de mulheres com HAC mostrou aumento da ativação da amígdala para emoções faciais negativas em comparação com mulheres típicas (Ernst et al., 2007).

Entretanto, a interpretação do aumento da ativação da amígdala não é simples, pois, entre outros fatores, pode ser uma resposta que pode estar relacionada à redução do volume (Sheri A. Berenbaum & Beltz, 2011). Há também alguma evidência de efeitos de andrógenos pré-natais na agressão, de forma que mulheres com HAC parecem exibir maior tendência à agressividade do que o grupo controle (Mathews et al., 2009).

Embora estudos futuros sejam importantes, principalmente com amostras compostas por pessoas típicas, para determinar se os andrógenos masculinizam os interesses de forma linear em toda a gama de exposição aos andrógenos (com pequenos aumentos nos andrógenos associados a pequenos aumentos nos interesses masculinos), ou se os andrógenos levam a interesses masculinizados apenas acima de um limiar de níveis moderadamente altos (Sheri A. Berenbaum & Beltz, 2011), especula-se que traços de personalidade, comportamentos de ansiedade, agressividade e tomada de decisão na idade adulta possam estar relacionados com o nível de exposição à testosterona fetal (CARBONE, et al., 2013).

Alguns estudos pioneiros em humanos indicam associação entre a exposição *in utero* a substâncias antiandrogênicas e a preferência por brincadeiras “tipicamente femininas” em

crianças do sexo masculino. (SWAN, et al., 2010). Embora a avaliação de preferências e os chamados comportamentos sexuais dimórficos deva considerar fatores ambientais, construções sociais e outros fatores biológicos não associados à androgenização, a exposição pré-natal a androgênios parece ter um papel em muitos desses aspectos.

Em jogadores profissionais de futebol, foram observados maiores níveis de agressividade em atletas com menor razão 2D:4D, avaliado pelo número de cartões amarelos e o manejo de impulsos agressivos avaliado pelo Teste de Frustração de Imagens (PFT). Tal relação também ocorreu com os níveis de testosterona salivar, de maneira que atletas mais androgenizados *in utero* apresentaram maiores níveis de testosterona. (Perciavalle et al., 2013)

Nesse sentido, a hipótese de que lutadores de MMA apresentem menores valores de 2D:4D e que a maior androgenização pré-natal esteja relacionada a traços de agressividade parece plausível. Essa associação já foi verificada em atletas do sexo masculino em outras modalidades de lutas (Adamczyk et al., 2021). De maneira semelhante, há evidências de preferência por esportes de combate em mulheres mais androgenizadas, enquanto mulheres menos androgenizadas tendem a preferir outros tipos de prática esportiva (Kociuba et al., 2017)

Apesar da preferência de pessoas mais androgenizadas pela prática de esportes de combate, há evidências preliminares de que a prática de artes marciais e esportes de combate podem ter um impacto positivo sobre a agressividade. Basicamente, o principal ponto em discussão é se o treinamento de artes marciais tem esse impacto positivo na pessoa “média”, ou se isso se deve a um viés de autoseleção, algo que os estudos transversais desenvolvidos até o momento não foram capazes de resposta, já que uma relação de causa e efeito não pode ser atribuída a esse delineamento de estudo (Lafuente et al., 2021).

Para além da agressividade, traços de personalidade parecem estar relacionados à determinados tipos de esportes. Recentemente, Bojanić e colaboradores (2019) compararam os traços de personalidade e autoestima em atletas de esportes de combate e esportes coletivos utilizando o questionário *Big Five* (BFI), que avalia cinco grandes dimensões de personalidade: abertura a novas experiências, conscienciosidade (escrupulosidade), extroversão, neuroticismo e simpatia (socialização). Nesse estudo, os autores verificaram que os fatores neuroticismo, que reflete ansiedade, irritabilidade e instabilidade emocional, e conscienciosidade, associada a autocontrole e comportamentos direcionados a metas, foram os que mais distinguiram esses

grupos, com lutadores apresentando maiores pontuações de neuroticismo e atletas de esportes coletivos apresentando maior conscienciosidade (Bojanić et al., 2019).

Sabe-se também que apresentar maiores pontuações para o fator abertura é uma característica dos praticantes de esportes de risco (Tok, 2011) que, ao menos parcial e logicamente, poderia levar à especulação de maiores níveis de abertura no BFI em atletas de artes marciais mistas (MMA), em comparação com não atletas, já que a abertura expressa um comportamento exploratório que, principalmente durante a competição, pode ser muito útil para explorar uma ampla gama de manobras como chutes, socos, cotoveladas, chaves de articulações, e estrangulamentos, a fim de surpreender o oponente e ser decisivo no momento da luta. Adicionalmente, a hipótese da existência de uma associação entre abertura e 2D:4D pode ser investigada.

1.4 ASSOCIAÇÃO DE 2D:4D COM FORÇA E PERFORMANCE: O MMA

Considerando as variáveis e comportamentais, Hönekopp et al., (2006) discutiram a relação entre aptidão física e baixa razão 2D:4D mediada por uma associação inversa entre a razão 2D:4D e a frequência de exercícios, sugerindo que os efeitos organizacionais da testosterona pré-natal podem predizer um tipo de comportamento que interfere no volume do exercício e levar ao aumento da força e desempenho em atletas do sexo masculino, embora outros fatores como periodização, dieta, descanso e genética interfiram nas adaptações ao treinamento.

Para além do treinamento, sabe-se que fatores relacionados ao momento da competição podem predizer a performance esportiva. Nesse sentido, embora a androgenização pré-natal não esteja relacionada com níveis de testosterona basais, é bem evidenciada a associação negativa entre 2D:4D e a liberação de testosterona sob estímulos estressores (i.e. vídeos de lutas) em homens, de maneira que, quanto mais androgenizados, maior a liberação de testosterona sob estresse (Ribeiro et al., 2016).

O mecanismo de resposta antecipatória de testosterona possivelmente mais pronunciado em indivíduos mais androgenizados pode estar relacionado com a performance esportiva. Em atletas de judô, a resposta de liberação de testosterona já foi verificada

imediatamente antes da competição (Salvador et al., 2003). Interessantemente, os atletas que apresentaram um aumento de testosterona pronunciado tiveram melhores resultados nas lutas.

Foi relatado que a razão 2D:4D prediz fortemente o desempenho em esportes de resistência, (John T. Manning et al., 2007), variações individuais no consumo máximo de oxigênio (VO₂max) e altas concentrações máximas de lactato em adolescentes (Hill et al., 2012). Além disso, vários estudos associaram a androgenização pré-natal, avaliada por meio da razão 2D:4D, com melhor performance esportiva (Hönekopp & Schuster, 2010), principalmente em corredores (John T. Manning et al., 2007) e jogadores de futebol (John T. Manning & Taylor, 2001), mas poucas investigações exploraram o valor de 2D:4D na determinação do desempenho potencial de um indivíduo em esportes baseados em potência, especificamente, esportes de combate (Adamczyk et al., 2021).

Artes marciais mistas, em inglês, *Mixed Martial Arts*, (MMA) é um esporte de combate de contato do corpo todo, caracterizado por permitir um alto grau de liberdade nas abordagens ofensivas e defensivas, resultando na inclusão de técnicas e táticas de vários estilos de esportes de combate (Lenetsky & Harris, 2012). A vitória em uma luta pode ocorrer por finalização, nocaute (tornando um oponente inconsciente), nocaute técnico (tornando um oponente incapaz de continuar lutando), paralisação do médico do octógono ou ainda por decisão dos juízes. A decisão dos juízes é baseada na qualidade e eficácia dos golpes e técnicas de *grappling* (“luta agarrada”) e pode resultar nas seguintes pontuações: 10–10 rounds mesmo entre os lutadores, 10–9 rounds vencidos por uma margem muito pequena por um dos lutadores, 10–8 rounds vencidos por uma ampla margem por um dos lutadores, ou 10-7 round vencido de forma muito dominante por um dos lutadores (UFC, 2022).

Em uma revisão sistemática (James et al., 2016) projetada para avaliar os determinantes do desempenho esportivo em atletas de MMA, foi relatado que as qualidades anaeróbicas como força máxima e potência, e não aeróbicas, são os principais indicadores que distinguem os atletas de esportes de combate de nível superior e inferior.

Um atleta de MMA bem preparado precisará possuir altos níveis de força máxima e resistência de força acompanhados da capacidade de expressar potência (repetidamente) sob condições de carga (Kostikiadis et al., 2018). Com base nesses achados, a força de prensão palmar (FPP) pode ser um biomarcador putativo interessante para medir o desempenho de atletas de MMA.

Uma pegada forte é particularmente importante para os atletas dominarem seus oponentes durante as situações de imobilização em uma competição de luta (Franchini et al., 2018). No entanto, a associação entre 2D:4D com FPM em atletas de MMA ainda não foi

investigada. Uma relação entre 2D:4D e FPM durante a competição parece plausível considerando o papel da testosterona na produção de força muscular (Nelson et al., 1986).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a associação entre (1) força de preensão palmar e massa corporal magra com 2D:4D em atletas de MMA e (2) variáveis psicométricas e 2D:4D em atletas e não atletas de MMA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1- Comparar a razão 2D:4D entre atletas e não atletas de MMA: avaliação do comprimento dos dedos indicadores e anelares de atletas de MMA e estudantes universitários;
- 2- Medir a força de preensão palmar (FPP) de atletas de MMA;
- 3- Estimar a composição corporal de atletas de MMA;
- 4- Mensurar traços de personalidade e agressividade por meio de questionários em atletas de MMA e estudantes universitários;
- 5- Comparar o percentual de vitórias em atletas mais androgenizados (com menor razão 2D:4D), em relação a atletas menos androgenizados.

3 MÉTODOS

3.1 PARTICIPANTES

O cálculo do tamanho da amostra foi realizado com o software G*Power (versão 3.0.10, Alemanha) (Faul et al., 2007). Os dados para cálculos do tamanho da amostra foram obtidos de um estudo anterior que utilizou 2D:4D em atletas de combate (Adamczyk et al., 2021). De acordo com essa análise, é necessário um tamanho mínimo de amostra de 46 participantes por grupo, baseado na capacidade de detectar uma diferença mínima significativa na análise 2D:4D para fornecer um $\alpha = 0,05$ e um poder de 80% para detectar um grande efeito ($\eta^2 > 0,60$).

No total, 122 homens participaram deste estudo. Destes, 69 atletas de MMA, dos quais 45 eram atletas profissionais (com pelo menos duas lutas profissionais) e 24 atletas amadores, recrutados em 9 academias de luta de Curitiba, Brasil. Além disso, foram recrutados 53 estudantes universitários recrutados na UniCesumar, campus Curitiba..

Crítérios inclusão: ter entre 18 e 40 anos, não apresentar lesões osteomioarticulares que interfiram no teste de FPP e também não fazer uso de esteroides anabolizantes ou suplemento alimentar que proporcione ganhos de força.

Crítérios de exclusão: Foram excluídos os participantes que reportaram uso de esteroides anabolizantes e que estavam em uso de creatina até 1 mês antes da coleta de dados.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os participantes foram totalmente informados de quaisquer riscos e desconfortos associados aos experimentos antes de dar seu consentimento informado por escrito para participar. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Paraná (n. 91580318.6.0000.0102). Após o recrutamento e assinatura do termo de consentimento informado, os atletas foram incentivados a abster-se de todas as fontes alimentares de cafeína, álcool ou estimulantes por 24 horas antes do teste de FPP.

Todos os atletas visitaram separadamente o laboratório aproximadamente às 9h do dia agendado, em jejum, para completar o protocolo experimental. Inicialmente, os participantes tiveram a massa corporal aferida, informaram sua idade e altura e preencheram dois questionários psicométricos autoaplicáveis, o Big Five Inventory (BFI), projetado para medir cinco traços de personalidade, e o Buss-Perry Questionnaire (BPAQ), que indica a

agressividade. Após a aplicação dos questionários, a proporção de dígitos 2D4D e a FPP foram medidas.

Os estudantes (grupo controle) participaram de um protocolo mais curto, que consistiu nos mesmos questionários BFI e BPAQ aplicados aos atletas, seguido da avaliação da relação dígito 2D4D, medida da massa corporal, além da altura autorreferida. Os questionários e as medidas 2D4D foram realizados nas salas de aula dos alunos após a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido. Embora na mesma sala, cada estudante recebeu o questionário separadamente e a sala toda foi instruída a permanecer em silêncio durante o preenchimento. O delineamento experimental do estudo está representado na Figura 4, a seguir.

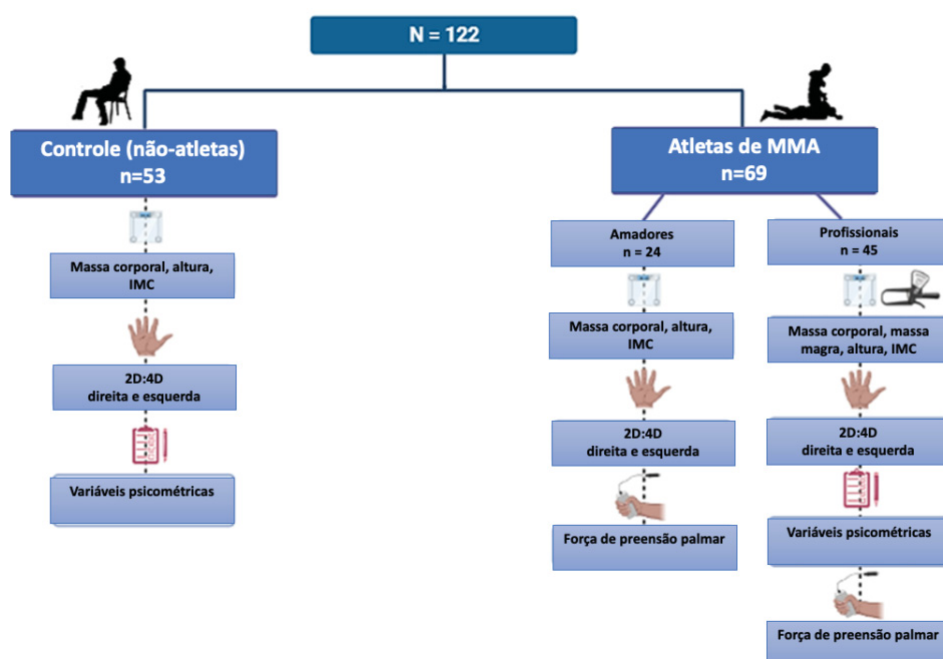


Figura 4 – Delineamento experimental do estudo

3.3 MEDIDA E AVALIAÇÃO 2D:4D

As medidas diretas do 2º (indicador) e 4º (anular) dedos foram realizadas em duplicata, do ponto médio na prega ventral proximal à palma da mão até a ponta do dedo. Foi utilizado um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (Digimatic paquímetro, série 500-196, Mitutoyo Corporation, Japão). O protocolo completo é descrito por (J. T. Manning et al., 1998). As medidas foram feitas tanto na mão esquerda quanto na mão direita. Ambas as mãos 2D:4D mostraram coeficientes de correlação intraclass (ICCs) altos e significativos para a primeira e segunda medidas (2D:4D direito, ICC = 0,98, F = 147,92, p < 0,0001; 2D:4D esquerdo, ICC =

0,99, $F = 244,89$, $p < 0,0001$). Assim, usamos as médias das duas medidas (duplicatas), tanto para a mão esquerda quanto para a direita, em todos os testes subsequentes. (Ribeiro et al., 2016)

3.4 FORÇA DE PREENSÃO PALMAR (FPP)

Inicialmente, o examinador do estudo demonstrou como realizar o teste. Os participantes então realizaram uma simulação de teste realizando força submáxima para familiarização com o equipamento. Após um período de descanso de 1 minuto, foi realizado o teste principal. Os participantes foram instruídos a não olhar para o mostrador do dinamômetro, para evitar qualquer feedback visual.

As instruções para a execução do teste foram padronizadas por um avaliador experiente. Durante as instruções, o volume do comando verbal permaneceu constante, a fim de evitar qualquer influência do mesmo na magnitude da contração muscular (Johansson et al., 1983). Os participantes estavam em pé, os membros superiores estendidos ao lado do corpo e as falanges dedos mediais realizavam pressão na haste do aparelho (Heyward, 2014), 2014).

Os participantes realizaram um teste de produção de força máxima de preensão palmar em ambas as mãos medido com um dinamômetro manual de preensão palmar (Grip-D, Takei, Japão). Os participantes realizaram 2 tentativas com cada mão com 1 minuto de recuperação entre as repetições, sendo o maior valor utilizado para a análise (Del Coso et al., 2014).

Embora a força de preensão palmar seja tipicamente maior no lado dominante, a diferença entre os lados varia muito entre os estudos e depende se os indivíduos são dominantes do lado direito ou esquerdo. Como as informações disponíveis podem ser insuficientes para justificar o uso de comparações entre os lados para fazer julgamentos sobre a força de preensão (Bohannon, 2003) e considerando a bilateralidade específica do grappling do esporte, incluímos a FPP máxima obtida no teste para a análise. Para controlar a influência da massa corporal na FPP, utilizou-se a escala alométrica da massa corporal, seguindo a equação: $F_{\text{índice}} = F/MC^b$, onde $F_{\text{índice}}$ representa a FPP ajustada alométrica (ou índice FPP), F representa a força muscular absoluta, MC representa a massa corporal em kg e b é o expoente alométrico (coeficiente beta) obtido a partir de uma regressão linear com o logaritmo natural da massa corporal como variável independente e o logaritmo natural da FPP máxima como variável dependente (Külkamp et al., 2012).

3.5 QUESTIONÁRIOS

3.5.1 BIG FIVE INVENTORY

Os traços de personalidade foram avaliados por meio do questionário BFI, que é dividido em cinco grandes fatores (Nunes & Hutz, 2007). O modelo dos cinco grandes fatores de personalidade é geralmente medido com base em cinco dimensões amplas. (1) Abertura: se refere aos comportamentos exploratórios. (2) Conscienciosidade, Falta de Impulsividade ou Vontade: nesse fator é característico o controle de impulsos, bem como comportamentos direcionados a um objetivo específico. (3) Extroversão: é o componente da personalidade humana, que no modelo dos CGF está relacionado às formas como as pessoas interagem com os demais. (4) Amabilidade, Agradabilidade ou Sociabilidade: caracteriza uma orientação em direção aos demais, incluindo traços como o altruísmo, confiança e modéstia. (5) Neuroticismo: contrasta instabilidade emocional com afetos negativos, incluindo ansiedade, tristeza, irritabilidade e tensão nervosa.

Foi calculado o índice de aquiescência individual (BFI_{med}) (Soto et al., 2008), que representa a resposta média em 32 itens pré-estabelecidos, que formam 16 pares de itens com implicações de personalidade opostas (Ex. item 1 “é conversador, fala muito” e item 21 “tende a ser quieto”) e o desvio padrão individual para as 32 respostas (BFI_{desv}). Ambos os escores individuais BFI_{med} e BFI_{desv} foram utilizados para ipsatizar o questionário BFI completo de 44 itens, removendo o índice de aquiescência individual do escore de cada item e depois ajustando o desvio padrão total pelo desvio padrão individual, resultando em um desvio padrão centrado na pessoa, como demonstrado a seguir:

I – É calculada a média de resposta intrapessoal ou índice de aquiescência individual (BFI_{med}): média das respostas dos 32 itens opostos, descritos a seguir:

BFI_{med} = média (bfi1, bfi6, bfi16, bfi21, bfi31, bfi36, bfi2, bfi7, bfi12, bfi17, bfi27, bfi32, bfi37, bfi42, bfi3, bfi8, bfi13, bfi18, bfi23, bfi28, bfi33, bfi43, bfi9, bfi19, bfi24, bfi29, bfi34, bfi39, bfi5, bfi30, bfi35, bfi41)

II - São calculados os desvios padrões intrapessoais (BFI_{desv}):

BFIdesv = desvio padrão (bfi1, bfi6, bfi16, bfi21, bfi31, bfi36, bfi2, bfi7, bfi12, bfi17, bfi27, bfi32, bfi37, bfi42, bfi3, bfi8, bfi13, bfi18, bfi23, bfi28, bfi33, bfi43, bfi9, bfi19, bfi24, bfi29, bfi34, bfi39, bfi5, bfi30, bfi35, bfi41)

III- São calculados os valores de cada um dos 44 ítems BFI ipsatizados (zbfi):

Ítem 1 ipsatizado (zbfi1) = (bfi1 – BFImed)/BFIdesv

Ítem 2 ipsatizado (zbfi2) = (bfi2 – BFImed)/BFIdesv

...

Ítem 44 ipsatizado (zbfi44) = (bfi44 – BFImed)/BFIdesv

IV- Cálculo do escore final para cada dimensão:

Para calcular a pontuação média de cada dimensão do BFI (extroversão, amabilidade, conscienciosidade, neuroticismo e abertura), utilizou-se a média dos valores ipsatizados atribuídos a cada ítem, considerando os ítems marcados como pontuação reversa. No total, 8 ítems representam extroversão, 9 representam amabilidade, 9 representam conscienciosidade, 8 representam neuroticismo e 10 representam abertura.

3.5.2 QUESTIONÁRIO DE AGRESSIVIDADE – Buss Perry Questionnaire

A agressividade foi avaliada por meio do Questionário de Agressividade (BPAQ) (Buss & Perry, 1992) traduzido e adaptado por (Gouveia et al., 2008). Este instrumento tem por base o Buss- Durkee Hostility Inventory (BDHI), desenvolvido por (Buss, Arnold H. & Durkee, 1957). O BPAQ é composto por 26 ítems e avalia a agressividade em quatro dimensões: agressão física (8 ítems), agressão verbal (4 ítems), raiva (6 ítems) e hostilidade (8 ítems). Os escores foram medidos em uma escala de likert de 1 a 5 e a média foi calculada para cada dimensão (Ayala, A. et al., 2018).

3.6 ANÁLISE DE DADOS

Em um primeiro momento, foi realizado teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade em grupos de atletas e não atletas. As diferenças entre os grupos foram analisadas por meio do teste T não pareado para variáveis paramétricas e teste U de Mann-Whitney para as não paramétricas. Após identificação das variáveis de que diferiram entre os grupos, realizamos uma correlação de Spearman entre 2D4D e estas variáveis: BFIgradabilidade, BFIabertura e BPAQraiva em ambos os grupos. Também foi feita correlação de Spearman entre 2D4D e FPM em atletas. Adotou-se a escala de (Callegari-Jacques, 2009) para classificar o índice de correlação: 0,00 – 0,19 muito fraco, 0,20 – 0,39 fraco, 0,40 – 0,69 moderado, 0,7 – 0,89 forte, 0,9 – 1,0 muito forte.

Além disso, o teste do qui-quadrado foi utilizado para a associação entre a androgenização pré-natal e o desfecho vencedor. Para esta comparação, os participantes foram divididos em dois grupos (alto e baixo) 2D:4D e dois grupos (alta e baixa) frequência de vitórias, de acordo com o percentil 50. O alto 2D:4D foi definido como $\geq 0,94$ para a mão direita e $\geq 0,96$ para a mão esquerda. A alta frequência de vitórias foi definida como $\geq 0,68$. Não há critérios clínicos ou fisiológicos estabelecidos na literatura para definir o valor de corte do percentil. Assim, inicialmente, realizamos uma análise exploratória para determinar o contraste ótimo entre os grupos. A estratificação em metades mostrou um contraste mais forte entre os grupos quando comparado aos terços ou quartos. O nível de significância foi estabelecido em $p < 0,05$. Os dados foram analisados usando o IBM SPSS Statistics, versão 26, para Mac.

4 ARTIGO CIENTÍFICO

Article

Anthropometrics, Performance, and Psychological Outcomes in Mixed Martial Arts Athletes

Nathalia Ferreira Camarco ^{1,*}, Ivo Vieira de Sousa Neto ², Evaldo Ribeiro Jr ³ and Anderson J. Martino Andrade ¹

¹ Department of Physiology, University of Parana, Curitiba 81531-990, Brazil; martino.andrade@gmail.com

² Laboratory of Molecular Analysis, Faculty of Ceilândia, Universidade de Brasília, Distrito Federal 70910-900, Brazil; ivoneto04@hotmail.com

³ Department of Physical Education, University of Parana, Matinhos 83260-000, Brazil; evaldo.ribeirojr@ufpr.br

* Correspondence: nat.nutrifisica@hotmail.com; Tel.: +55-41-3361-1588

Citation: Camarco, N.F.; de Sousa Neto, I.V.; Ribeiro, E., Jr.; Andrade, A.J.M. Anthropometrics, Performance, and Psychological Outcomes in Mixed Martial Arts Athletes. *Biology* **2022**, *11*, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Academic Editors: Gianpiero Greco; Filip Kukić and Katie M. Heinrich

Received: 11 May 2022

Accepted: 28 May 2022

Published: date

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors.

Submitted for possible open access

publication under the terms and

conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY) license

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Simple Summary: The digit ratio is a prenatal testosterone biomarker and it is related to sports performance. Few investigations have explored the digit ratio in determining the potential performance of an individual in power-based sports, specifically, combat sports. This biomarker, in conjunction with other measures, might be valuable in determining the potential athleticism of an individual. In the present study, we compared the digit ratios between mixed martial arts athletes and non-athletes. Moreover, we investigated the association between (1) handgrip strength and the digit ratio in mixed martial arts athletes and (2) psychometric variables and digit ratios in mixed martial arts athletes and non-athletes. Athletes presented lower digit ratios than the control group in both hands. Moreover, athletes presented less agreeableness, more openness, and less anger than the controls. We observed that the left hand 2D:4D was negatively correlated with handgrip strength and lean body mass in professional athletes. However, we did not observe an association between psychometric variables or wins with 2D:4D. To conclude, the prior digit ratio might provide efficient data for analyses and important feedback to determine key performance predictors in a particular competition, but it does not explain the full sports performance; it needs to be included with other performance measures.

Abstract: The digit ratio (2D:4D) is related to prenatal testosterone (T) and sports performance. Few investigations have explored 2D:4D in determining the potential performance of individuals in power-based sports, specifically combat sports. This study compared 2D:4D between mixed martial arts (MMA) athletes and non-athletes and investigated the association between (1) handgrip strength (HGS) and lean

body mass (LBM) with 2D:4D in MMA athletes and (2) psychometric variables and 2D:4D in MMA athletes and non-athletes. In total, 122 men participated in this study (53 non-athletes, 45 professionals, and 24 amateur fighters). The 2D:4D was measured using a caliper, HGS was assessed with a dynamometer, and psychometric variables were evaluated using questionnaires. Athletes displayed significantly ($p < 0.05$) lower median values of right (0.95 ± 0.04) and left (0.96 ± 0.03) 2D:4D in comparison with non-athletes, (0.97 ± 0.03) and (0.99 ± 0.03), respectively. We observed that left hand 2D:4D was negatively correlated with HGS ($r = -0.43$; $p < 0.05$) and lean body mass ($r = -0.49$; $p < 0.05$) in professional athletes. Professional athletes also displayed significant differences ($* p < 0.05$; $** p < 0.001$) in psychometric variables compared to non-athletes for (1) agreeableness**, median values (interquartile range) = -0.11 (-0.19 – 0.07) and 0.2 (-0.09 – 0.33), respectively; (2) anger**, mean $\pm$ standard error = 2.40 ± 0.12 and 2.89 ± 0.89 , respectively; and (3) openness*, mean $\pm$ standard error = 0.17 ± 0.04 and -0.006 ± 0.04 , respectively. However, we did not observe an association between psychometric variables or wins with 2D:4D. In conjunction with other measures, 2D:4D is valuable in determining the potential athleticism of an MMA athlete.

Keywords: combat sports; digit ratio; handgrip strength; aggressiveness; personality

1. Introduction

Mixed martial arts (MMA) is a full-contact sport that combines a range of martial arts techniques and various combat sports (Davison et al., 2009). There is evidence that there is a range of genetic and epigenetic factors that contribute to successful performance in sports, such as MMA, including training routines, diets, recovery, psychological threats, and environmental aspects (Buxens et al., 2011); for theoretical reasons, this may also include the in utero environment.

The digit ratio (2D:4D) is calculated using the ratio of the second to the fourth fingers of the hands, and it is inversely related to prenatal testosterone (T) and directly related to prenatal estrogen. It is usually defined as a sexually dimorphic biomarker because cisgender males tend to display lower values than cisgender females (J. T. Manning et al., 1998)(Zheng & Cohn, 2011). Research shows a lack of an association between 2D:4D and basal testosterone levels in adults (Kilduff et al., 2013; Ribeiro et al., 2016); however, it is known that the in utero concentrations of sex hormones may have permanent developmental effects on the brain and cardiovascular morphology (i.e., organizational effects), which may explain why 2D:4D has been described as a potential indicator of sports success (John T. Manning & Taylor, 2001).

It has been reported that 2D:4D strongly predicts endurance performance (John T. Manning et al., 2007), individual variations in maximal oxygen uptake (VO_{2max}), and high maximum lactate concentrations in teenage boys (Hill et al., 2012). Furthermore, several studies associated 2D:4D with sports performances (Hönekopp & Schuster, 2010), mainly in racers (John T. Manning et al., 2007) and soccer players (John T. Manning & Taylor, 2001), but few investigations have explored the value of 2D:4D in determining the potential performance of an individual in power-based sports, specifically, combat sports (Adamczyk et al., 2021). Currently, there is evidence of associations between lower 2D:4D and (1) female (Kociuba et al., 2017) and male (Adamczyk et al., 2021) choices of combat sports, and (2) the percentage of wins in male sumo wrestlers (Tamiya et al., 2012). Furthermore, lower values of 2D:4D have been reported in male elite wrestler athletes compared with amateurs (Keshavarz et al., 2017).

In a systematic review designed to assess the determinants of sports performance in MMA athletes (James et al., 2016), it has been reported that anaerobic rather than aerobic qualities are the main indicators that distinguish the higher and lower-level combat sports athletes. A well-prepared MMA athlete will need to possess high levels of maximal strength and strength endurance accompanied by the ability to express power (repeatedly) under loaded conditions (Kostikiadis et al., 2018). Based on these findings, handgrip strength (HGS) might be an interesting putative biomarker used to measure the athletic performances of MMA athletes. A strong grip is particularly important for athletes to dominate their opponents during grappling tie-ups encountered in a fighting competition (Franchini et al., 2018). However, the association between 2D:4D with HGS in MMA athletes has not yet been investigated. A relationship between 2D:4D and HGS appears plausible because in utero male sexual differentiation and gonadal development depend on T release (Sharpe, 2006); higher levels of T may exert effects of increased muscle strength (Nelson et al., 1986).

In addition to the physiological explanation, the effects of psychology on sports performance have been long recognized. The association between physical fitness and low 2D:4D might be mediated through an association with exercise frequency, suggesting that the organizational effects of prenatal T may predict a type of behavior that interferes with exercise frequency and leads to increased strength and performance in male athletes (Hönekopp et al., 2006). This could lead to possible psychological differences between combat sports athletes and non-athletes (as important features of competitors).

In this context, shedding light on physiological or psychometric variables that might be associated with 2D:4D may guide coaches to adjust individualized training approach strategies, to be able to timely intervene (Bojanić et al., 2019). Prior 2D:4D, HGS, and screening for physiological factors might provide efficient data for analyses and important feedback to determine key performance predictors in a particular competition. This information could be valuable for evidence-based strategies during competitions and to identify possible deficient athletic performances. Thus, the current study compared the digit ratios (2D:4D) between MMA athletes and non-athletes and investigated the association between (1) muscular strength/lean body mass (LBM) and 2D:4D in MMA athletes and (2) psychometric variables and 2D:4D in MMA athletes and non-athletes. We also evaluated the association between 2D:4D and win outcome. We hypothesize that athletes will display lower values of 2D:4D and that HGS may be negatively related to prenatal androgenization. In addition, it is expected that psychological traits that may lead to high performances, such as conscientiousness and openness, will differ in athletes in comparison with non-athletes.

2. Materials and Methods

2.1. Participants

In total, 122 men participated in this study. A total of 69 MMA athletes, of which 45 professional athletes, defined as MMA athletes with at least two professional fights, and 24 amateur athletes, were recruited from 9 fighting academies in Curitiba, Brazil. Additional inclusion criteria for participating athletes included being free of osteoarticular lesions that interfered with the HGS test and not using anabolic steroids or dietary supplements, which provide strength gains. Participants who used creatine up until 1 month before data collection were excluded from the HGS test. Furthermore, 53 college students between 18 and 40 years old, were recruited, following the same additional inclusion criteria (Figure 1).

Data for sample size calculations were obtained from a previous study that used 2D:4D in combat athletes (Adamczyk et al., 2021). A minimum sample size of 46 participants per group was estimated based on the ability to detect a minimal meaningful difference in the 2D:4D analysis, considering a type I error level (α) of 0.05 and a power of 80% to detect a large effect ($\eta^2 > 0.60$). Calculation of the sample size was performed using G*Power Software (version 3.0.10, Germany) (Faul et al., 2007).

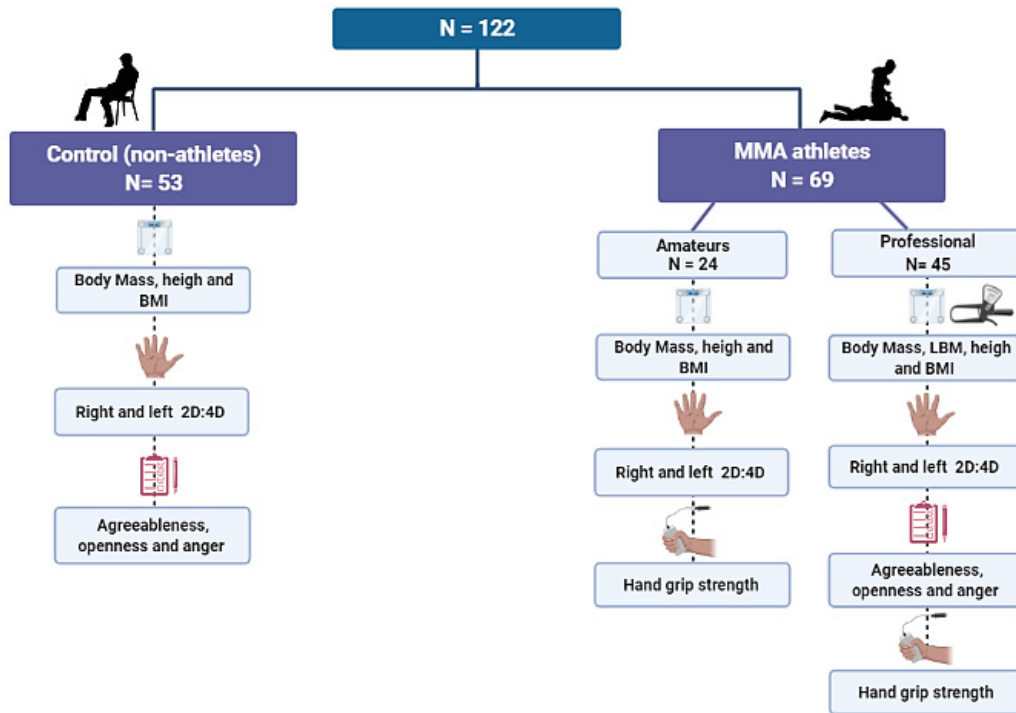


Figure 1. Sample distribution and dependent variables.

2.2. Experimental Design

All athletes separately visited the laboratory at 9:00 am on the scheduled day, in a fasting state, to complete the experimental protocol. At first, the body density was estimated through an equation including the sum of the mean (in triplicate) of seven skinfold measurement sites (triceps, subscapular, pectoral, midaxillary, supra-iliac, abdominal, and medial femoral), conducted by a single researcher using a calibrated Lange caliper (Beta Technology, Santa Cruz, CA, USA). Body density was used to calculate fat mass. LMB was calculated as total body mass–fat mass. (Jackson & Pollock, 1978; Siri, 1993). Next, the athletes provided their ages, body masses, and heights, and completed two self-administered psychometric questionnaires—the big five inventory (BFI), designed to measure five personality traits, and the Buss–Perry aggression questionnaire (BPAQ), a 26-item questionnaire designed to assess aggression in four dimensions. Following the questionnaires, the 2D:4D digit ratio and the handgrip strength were measured. BMI was calculated by the equation: $\text{body mass}/(\text{height})^2$ (Quetelet, 1871)

The students took part in a shorter protocol, which consisted of the same BFI and BPAQ questionnaires administered to the athletes, followed by the assessment of the 2D:4D digit ratio, measurement of body mass, and information on self-reported height. The questionnaires and 2D:4D measurements were performed in the students' classrooms after signing the informed consent. Each participant received the questionnaire separately and was instructed to remain silent while responding.

Participants were fully informed of any risks and discomforts associated with the experiments before giving their informed written consent to participate. The study was approved by the Institutional Review Board (IRB) of the Federal University of Paraná (n. 91580318.6.0000.0102). After recruitment and signing the informed consent terms, the athletes were encouraged to refrain from all dietary sources of caffeine, alcohol, or stimulants for 24 h before the experimental trial for HGS.

2.3. Digit Ratio (2D:4D) Assessment

Direct measurements of the 2nd (index) and 4th (ring) fingers from the mid-point on the ventral crease proximal to the palm to the tip of the finger were taken twice. A digital caliper with 0.01 mm precision (Digimatic Caliper, 500–196 series, Mitutoyo Corporation, Sakado, Japan) was used. The complete protocol is described by (J. T. Manning et al., 1998). The measurements were taken from both left and right hands. The 2D:4D of both hands showed high and significant ICCs for the first and second measurements (right 2D:4D, ICC = 0.98, $F = 147.92$, $p < 0.0001$; left 2D:4D, ICC = 0.99, $F = 244.89$, $p < 0.0001$). Thus, we used the means for left and right 2D:4D in all subsequent tests (Ribeiro et al., 2016).

2.4. Hand Grip Strength (HGS)

At first, a study examiner demonstrated how to perform the test. The participants then performed a simulation of a test performing submaximal strength for familiarization with the equipment. After one minute of rest, the main test was performed. Participants were instructed not to look at the dynamometer dial (to avoid any visual feedback). Instructions for the test executions were standardized by an experienced evaluator. During the instructions, the volume of the verbal command remained constant to avoid any influence on the magnitude of muscle contraction (Johansson et al., 1983).

Participants stood with the superior limbs extended to the side of the body; the medial phalanges of the fingers placed pressure on the shaft of the device (Heyward, 2014). They performed handgrip maximal force production tests in both hands measured with a manual handgrip dynamometer (Grip-D, Takei, Japan). Participants conducted 2 attempts with each hand, with 1 min of recovery between repetitions; the highest value was used for the analysis (Del Coso et al., 2014).

Although the handgrip strength is typically greater on the dominant side, the differences between sides vary widely among studies and depend on whether individuals are right- or left-hand dominant. The available information may be insufficient to justify using between-side comparisons to make judgments about grip strength (Bohannon, 2003). Considering the specific grappling bilaterality of the sport, we included the maximum HGS obtained in the test for the analysis. To control the influence of body mass on HGS, we used the allometric scaling of body mass, following the equation: $F_{\text{nor}} = F/m^b$, where F_{nor} represents the allometric adjusted HGS (or HGS index), F represents absolute muscle strength, m represents the body mass in kg, and b is the allometric exponent (beta coefficient) obtained from the linear regression; the natural logarithm of body mass is an independent variable and the natural logarithm of maximum HGS is a dependent variable (Külkamp et al., 2012).

2.5. Questionnaires

2.5.1. Big Five Inventory (BFI)

The Portuguese validated (J. M. de Andrade, 2008) BFI personality model is hierarchical, with scores from 1 to 5, on a Likert scale model, grouped into 5 broad dimensions: (1) Openness—refers to exploratory behaviors.

(2) Conscientiousness, lack of impulsivity, or will. In this factor, impulse controls are characteristic, as well as behaviors directed toward specific objectives. (3) Extroversion—the component of human personality; in the big five factor model, this is related to how people interact with others. (4) Agreeableness—characterizes orientations toward others, including traits such as altruism, trust, and modesty. (5) Neuroticism—contrasts emotional instability with negative effects, including anxiety, sadness, irritability, and nervous tension.

We calculated the ipsatized index for each factor. Ipsatization, or intra-subject standardization, is a method that recodifies the raw scores based on the mean and standard deviations of some positive and negative items (response pairs) of each participant (John & Srivastava, 1999). We also performed the acquiescence index. Acquiescence refers to the tendency to respond positively to items, despite their descriptive content. To try to eliminate this effect, questions about the same factors were presented, alternating between positive and negative (Soto et al., 2008).

2.5.2. Buss–Perry Aggression Questionnaire (BPAQ)

Aggressiveness was assessed using the aggressiveness questionnaire (BPAQ) (Buss & Perry, 1992). This instrument is based on the Buss–Durkee hostility inventory (BDHI), developed by (Buss, Arnold H. & Durkee, 1957). The validated BPAQ version in Portuguese (Gouveia et al., 2008) consists of 26 items and assesses aggression in four dimensions: physical aggression (8 items), verbal aggression (4 items), anger (6 items), and hostility (8 items). Scores were measured on a 1 to 5 Likert scale and the mean value was calculated for each dimension (Ferreira, Vítor. Januário, Nuno. Martins, Paulo. Ayala, Ana. Gonçalves, Aida. Sousa, Edgar. Machado, 2018).

2.6. Statistical Analysis

At first, we used the Shapiro–Wilk test to assess the normality in groups of athletes and non-athletes. Differences between groups were analyzed using a non-paired T-test for parametric variables and a Mann–Whitney U test for non-parametric variables. We performed Spearman’s correlation *between 2D:4D and HGS in athletes*. Spearman’s correlation was also performed between 2D:4D and BFI agreeableness, BFI openness, and BPAQ anger in both groups. We classified results for the correlation index as: 0.00–0.19 very weak, 0.20–0.39 weak, 0.40–0.69 moderate, 0.7–0.89 strong, 0.9–1.0 very strong (Callegari-Jacques, 2009).

Moreover, the chi-square test was used for the association between prenatal androgenization and the winning outcome. For this comparison, participants were divided into two groups (high and low) of 2D:4D and two groups (high and low) of frequency of wins, according to the 50th percentile. The high 2D:4D was defined as ≥ 0.94 for the right hand and ≥ 0.96 for the left hand. The high winning frequency was defined as ≥ 0.68 . No clinical or physiological criteria have been established in the literature to define the cutoff value of the percentile. Hence, initially, we performed an exploratory analysis to determine the optimal contrast between groups. Stratifying into halves displayed a stronger contrast between groups when compared to thirds or fourths. The level of significance was set at $p < 0.05$. Data were analyzed using IBM SPSS Statistics, version 26, for Mac.

3. Results

3.1. Descriptive Statistics and Comparison of Digit Ratios

Descriptive statistics are shown in Table 1. The sample consisted of 69 MMA athletes and 53 college-aged students. The median age (y) of the athlete's group was slightly higher, i.e., 25 (18–39) than the non-athletes, i.e., 22 (18–35). Weight, height, and BMI did not differ between groups (Figure 2). As expected, digit ratios were significantly different between groups, in both hands, with athletes displaying more androgenized profiles, with lower median values of the right and left 2D:4D ratios, (0.95 ± 0.04) and (0.96 ± 0.03), respectively, compared with non-athletes, (0.97 ± 0.03) and (0.99 ± 0.03), respectively. No differences were found between amateur and professional athletes in the left or right 2D:4D ratio (data not shown).

Table 1. Sample characterization and descriptive statistics.

	Athletes	Non-athletes	<i>p</i> value
Age (y) ^b	25 (18–39) n = 69	22 (18–35) n = 53	0.002 *
Body Mass (Kg) ^a	76.07 ± 13.85 n = 69	76.22 ± 11.12 n = 53	0.946
Height (cm) ^a	176 ± 0.73 n = 69	175 ± 0.61 n = 53	0.664
BMI (kg/m ²) ^a	24.48 ± 3.63 n = 69	24.70 ± 2.69 n = 53	0.711

Note: ^a Parametric data: Results are described as mean ± standard deviation. ^b Non parametric data: Results are described as median (minimum–maximum) * $p < 0.05$.

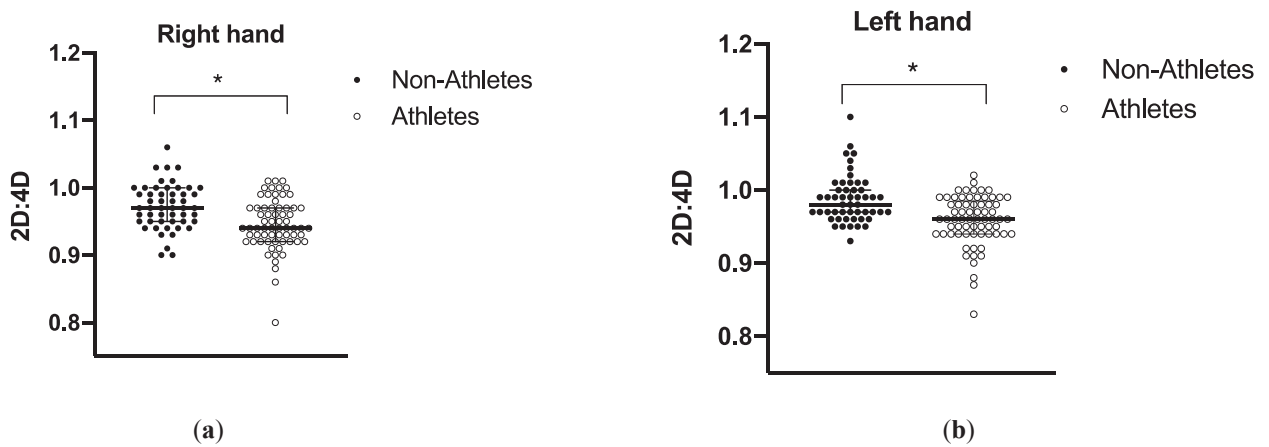


Figure 2. Median and interquartile ranges for right (a) and left (b) 2D:4D ratios in athletes and non-athletes. Mann–Whitney U test. Results are described in median and interquartile ranges. Athletes, $n = 66$; non-athletes, $n = 51$. * $p > 0.0001$.

3.2. Correlation between 2D:4D, LBM, and HGS

After verifying normality in the HGS index data, we performed a T-test and verified that there were no differences between the HGS index in professional ($n = 27$) and amateur ($n = 21$) athletes ($p = 0.575$). Therefore, we tested the correlation between 2D:4D and the HGS index in all athletes ($n = 48$) for which we had both HGS and digit ratio measures. We found a moderate, negative, and significant correlation ($r = -0.43$, $p = 0.002$) between the left 2D:4D and the HGS index. No significant correlations were found with the right hand, ($r = -0.09$; $p = 0.5$; $n = 48$). Furthermore, we tested the correlation between 2D:4D and LBM in professional athletes, for which we had both LBM and digit ratio measures ($n = 23$). We found a negative significant correlation between the left 2D:4D and LBM ($r = -0.499$; $p = 0.001$). However, the right 2D:4D was not correlated with LMB ($r = -0.21$; $p = 0.32$; Figure 3).

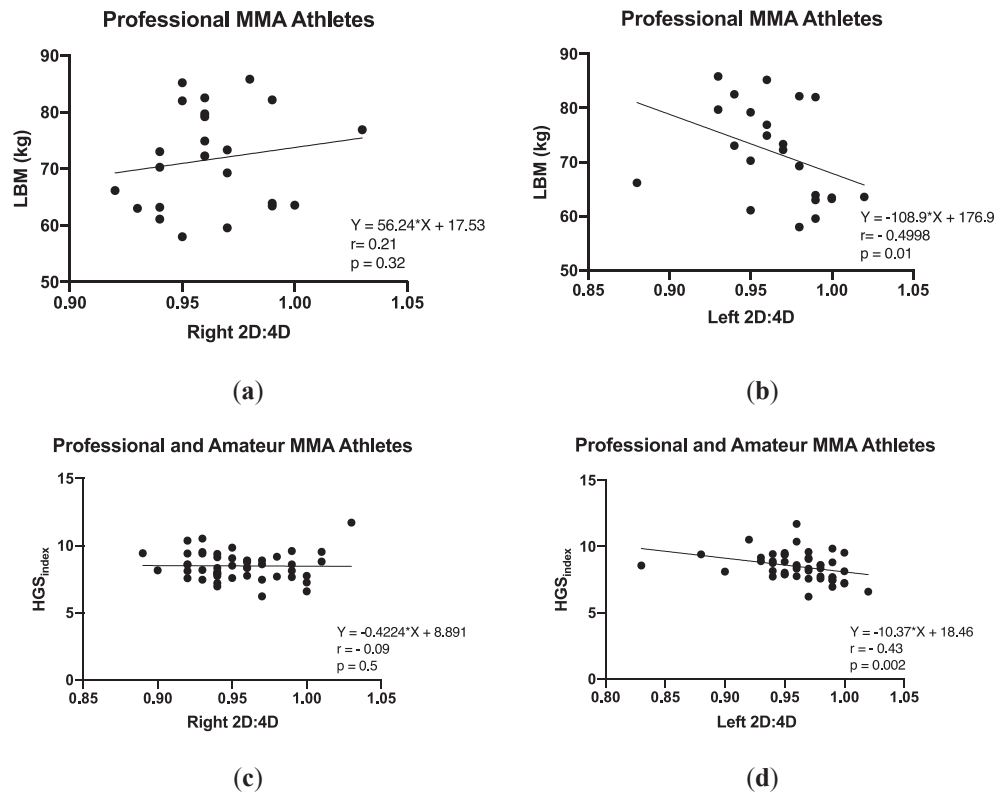


Figure 3. (a) Spearman's correlation test between LBM and right 2D:4D among professional MMA athletes ($p = 0.32$). (b) Spearman's correlation test between LBM and left 2D:4D among professional MMA athletes ($p = 0.01$). (c) Spearman's correlation test between the HGS index and right 2D:4D among professional and amateur MMA athletes ($p = 0.5$). (d) Spearman's correlation test between the HGS index and left 2D:4D among professional and amateur MMA athletes ($p = 0.002$).

3.3. Personality Traits in Professional MMA Athletes and Students

We found some differences in personality traits between groups. Results are described as the median and interquartile ranges for non-parametric data and the mean and standard error for parametric data (Figure 4). Athletes presented significantly lower ipsatized scores for BFI agreeableness than non-athletes, with median values (interquartile range) of -0.11 (-0.19 – 0.07) and 0.2 (-0.09 – 0.33), respectively. Moreover, athletes presented higher BFI openness scores (mean $\pm$ standard error = 0.17 ± 0.04) than non-athletes (-0.006 ± 0.04) and lower levels of aggression–anger: (mean $\pm$ standard error = 2.40 ± 0.12) and (2.89 ± 0.89) for athletes and non-athletes, respectively.

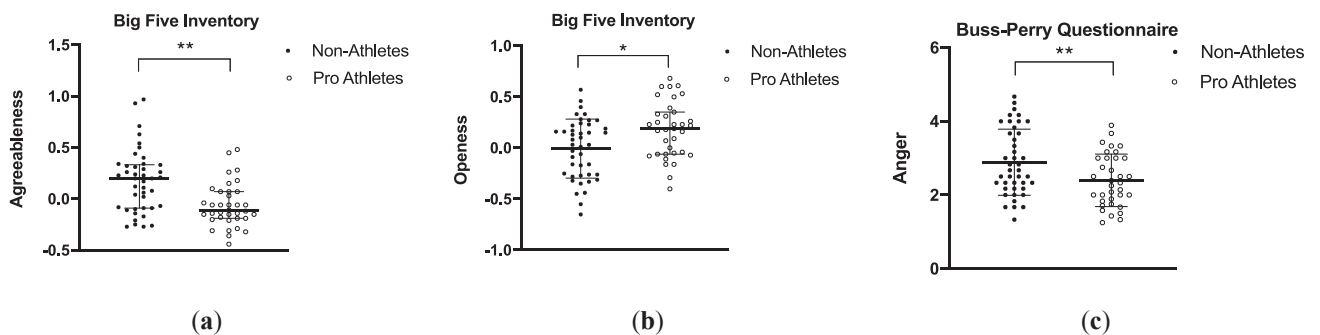
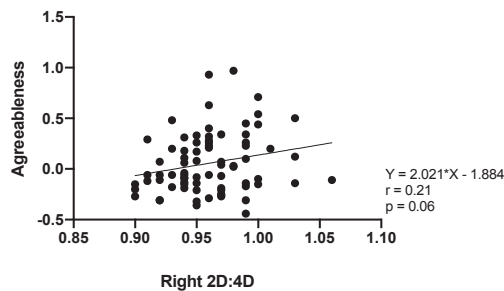
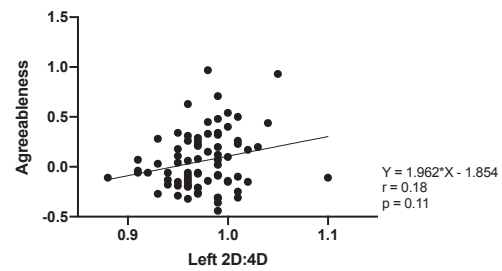


Figure 4. (a) Median and interquartile ranges for BFI agreeableness between groups of professional athletes (n = 35) and non-athletes (n = 42). (b) Mean and standard error for BFI openness between groups of professional athletes (n = 35) and non-athletes (n = 42). (c) Mean and standard error for BPAQ anger between groups of professional athletes (n = 35) and non-athletes (n = 42). * $p > 0.05$ ** $p > 0.001$.

Big Five Inventory—Agreeableness

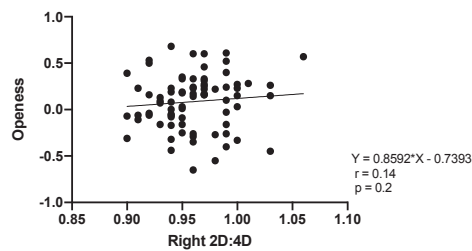


(a)

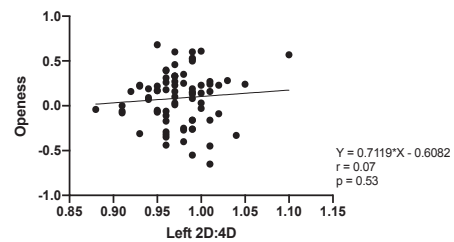


(b)

Big Five Inventory—Openness

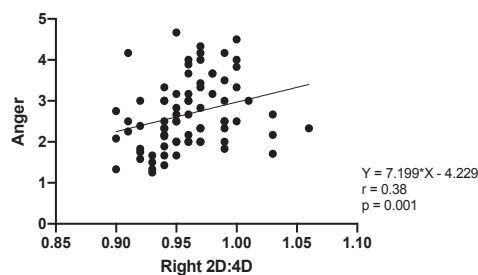


(c)

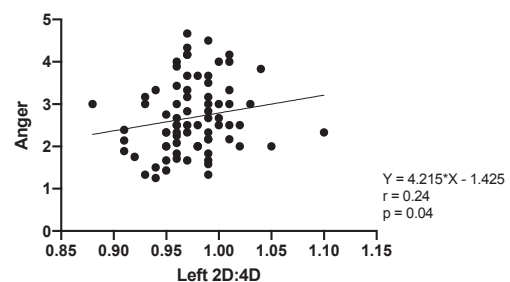


(d)

Buss-Perry Questionnaire—Anger



(e)



(f)

Figure 5. Spearman's correlation between right 2D:4D and BFI agreeableness (a,b); BFI openness (c,d) and BPAQ anger (e,f) in professional MMA athletes + non-athletes (n = 77). Significant differences ($p > 0.05$) only in BPAQ anger for 2D:4D in both hands.

3.4. Correlation between 2D:4D and Agreeableness, Openness, and Anger

Considering the differences found in 2D:4D, BFI agreeableness, BFI openness, and BPAQ anger between groups of professional athletes and non-athletes, we investigated the correlation of 2D:4D and BFI agreeableness, BFI openness, and BPAQ anger in both groups together (professional athletes + non-athletes). We did not find any significant correlations between right or left 2D:4D and agreeableness and openness, except for a tendency in BFI agreeableness and right 2D:4D. On the other hand, anger was significantly correlated with both 2D:4D hands (Figure 5).

3.5. Association between Winning Outcome and 2D:4D

On the right hand, there was no statistically significant association between prenatal androgenization and win outcome ($\chi^2(1) = 0.885$, $p = 0.346$; Table 2). Similarly, on the left hand, there was no statistically significant association between prenatal androgenization and the winning outcome ($\chi^2(1) = 0.277$, $p = 0.598$; Table 2).

Table 2. Association between prenatal androgenization and winning outcome.

	Right High 2D:4D	Right Low 2D:4D
High Wins	18 (26.47%)	15 (22.05%)
Low Wins	23 (33.82%)	12 (17.64%)
	Left High 2D:4D	Left Low 2D:4D
High Wins	13 (39.39%)	20 (60.61%)
Low Wins	16 (45.71%)	19 (54.29%)

Note: results are described as absolute frequency and relative frequency.

4. Discussion

The initial hypothesis of the present study has been partially confirmed, revealing that MMA athletes presented lower 2D:4D compared to the control group in both hands. In addition, we found a significantly moderate negative correlation between left hand 2D:4D and HGS in professional and amateur MMA athletes. Moreover, a negative correlation between left 2D:4D and LBM was observed in professional athletes. We also found differences concerning psychometric variables, i.e., lower BFI agreeableness and BPAQ anger, and higher BFI openness scores in professional athletes than in controls (Figure 4). There was an overall positive correlation between BPAQ anger and right and left 2D:4D in all subjects. However, we did not observe substantial associations between other psychometric variables or wins with 2D:4D. An overview of the main findings is shown in Figure 6. These promising findings suggest that 2D:4D evaluation in combination with other measures is a valuable tool for determining the potential athleticism of an individual. The possibility of applying the 2D:4D ratio as one of the choice criteria for predisposition—for direct physical fighting with an opponent—can be a useful measure in recruiting a team.

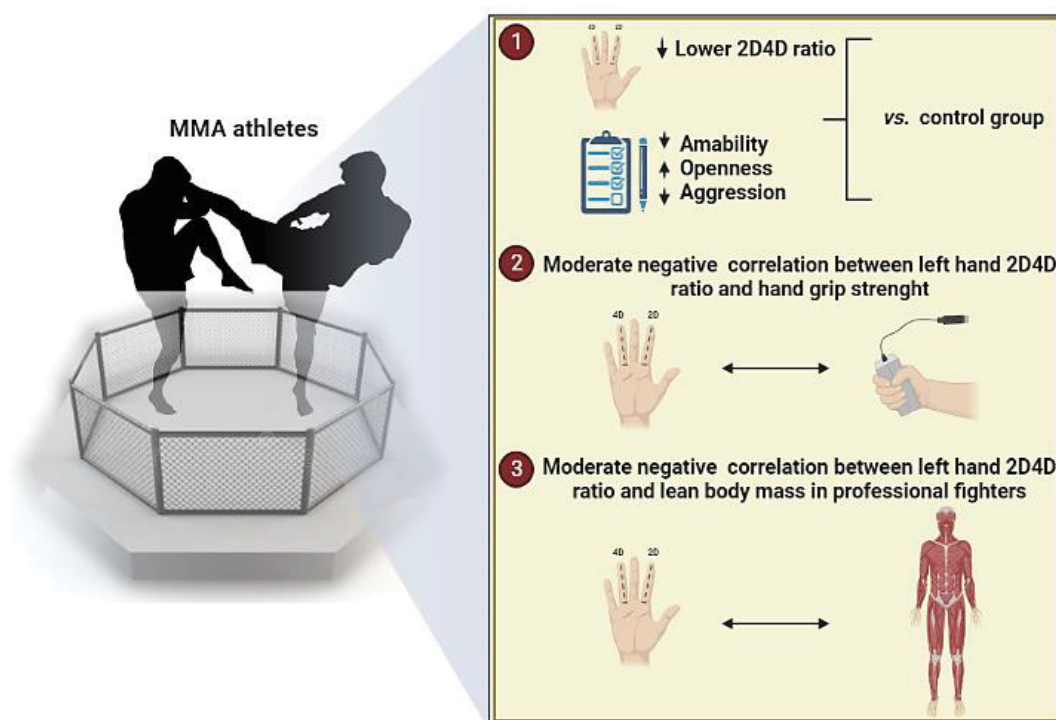


Figure 6. Overview of the main findings involved in MMA athletes.

Although this was the first study investigating prenatal androgenization in MMA athletes, the lower 2D:4D in athletes than controls was expected, considering the evidence in other athletes, such as soccer players (John T. Manning & Taylor, 2001). In addition, it was also reported that athletes with lower 2D:4D present better performance in sumo wrestling (Tamiya et al., 2012) and Greco–Roman wrestling (Keshavarz et al., 2017), and that more androgenized men tend to exhibit higher preferences for practicing combat sports (i.e., wrestling, judo, boxing, and kickboxing) rather than aerobics or team sports (Adamczyk et al., 2021; Kociuba et al., 2017). Furthermore, it was observed that a lower 2D:4D is associated with a lower body fat percentage, greater bone mineral content, and greater bone mineral density, especially in men, which could plausibly be related to prenatal androgen exposure (Smoliga et al., 2021). Thus, 2D:4D might be a biomarker of one's fate.

Our results corroborate a study conducted by Krakowiak et al. (Krakowiak & Čabrić, Milan. Sokołowska, 2013); they observed a negative correlation between the 2D:4D ratio and LBM in diverse sports modalities (football, volleyball, kayaking, rowing, and athletics). In particular, optimal LBM in MMA professional athletes may contribute toward improving health status and peak athletic performance, while decreasing the risk of injuries (A. Andrade et al., 2019). Furthermore, muscle mass indirectly helps enhance wrestling and grappling, improving one's chances of knocking out the opponent while making it harder for the opponent to take one down. Although the link between the 2D:4D ratio and physical characteristics is still not fully clarified, androgens are considered beneficial for athletic performance by exerting positive effects on muscle tissue. Hence, the 2D:4D ratio potentially proves helpful in evaluating predisposition to practicing certain sports skills and disciplines.

One of the possible hypotheses as to why there is lower 2D:4D in athletes (according to the literature) is that prenatal androgenization may influence metabolic parameters, such as VO_2max (Hill et al., 2012) and muscular strength (Hone & McCullough, 2012); this is because in utero male sexual differentiation and gonadal development are highly dependent on T release (Sharpe, 2006). Consequently, higher levels of prenatal T may exert

organizational effects on testicles and influence T release in adult life. Although a relationship between 2D:4D and HGS appears plausible for theoretical reasons, previous studies failed to detect associations between HGS and 2D:4D in healthy young men (Georgiev et al., 2017). Interestingly, an important finding was that HGS may be negatively related to 2D:4D in the left hand of an MMA athlete. In the current study, we chose to perform the correlation test between HGS and prenatal androgenization in the athletes only, to avoid confounding factors, such as big differences in physical fitness. Despite (Georgiev et al., 2017) statistically controlling the analyses to engagement in (regular) physically demanding work (i.e., basketball-playing, and weightlifting), the modality specificity practiced and recreational aspects influence the frequency, intensity, and time of training, which may interfere with the HGS values.

Previous studies also failed to find associations between basal T and 2D:4D (Ribeiro et al., 2016), but in a challenging condition (i.e., an aggressive video of rugby tackles), there was a highly significant increase in HGS and modest changes in T, physical aggression, and emotional stability in young men. These prior data indicate that low 2D:4D may be related to higher T release following an aggressive stimulus (Ribeiro et al., 2016) and, therefore, it constitutes a predictive marker of free testosterone responsiveness when trained men are physically challenged, even though it is not associated with basal T values (Kilduff et al., 2013). These relationships may in part explain the link between a low digit ratio and high performance in competitive sports. Furthermore, these findings are reinforced by a study that showed a low digit ratio predicting high physical aggression after a challenging situation of video aggression stimuli in young male non-athletes (Millet & Dewitte, 2007).

In our study, we found lower levels of BPAQ anger in MMA athletes, which is in agreement with the view that combat sports may lower anger and help individuals to acquire emotional self-control (Lafuente et al., 2021); however, we did not find differences in physical aggression. In addition, superficial analyses of our data (not shown) discarded the association between BPAQ anger and HGS. Although martial arts and combat sports are often associated with aggressiveness by the general public, there is evidence of less verbal and physical manifested aggressiveness in combat sports (i.e., Judo) practitioners in comparison with team sports (Stanković et al., 2022). Thus, based on the outcomes found here and the investigations of other researchers, it can be stated that aggressive behavior can be altered, modified, relieved, or retarded through exercise training routines.

For this purpose, our study was designed with MMA athletes that performed aggressive maneuvers (with sparring) as training routines, which may have similar effects to the challenge conditions imposed by a previous study (Ribeiro et al., 2016). Concerning new data for the MMA population—we found lower BFI agreeableness and higher BFI openness in MMA athletes than in the controls. Considering the nature of this modality, where superiority over the rival is not shown on an object (e. g., a ball) or a distance (e.g., a marathon), but directly on the rival's body (by potentially harmful techniques until knockout), it remains unclear if practicing and competing in MMA have led athletes to these types of behaviors or if men with natural lower agreeableness tend to choose MMA practicing. It is known that a higher level of openness to experience is characteristic of risky sports participants (Tok, 2011), which partially explains the higher levels of BFI openness in MMA athletes compared to non-athletes. BFI openness expresses exploratory behavior, which, mainly during competition, may be useful to explore a wide range of maneuvers, such as kicks, punches, holds, joint-locks, strangles, blows, and lunges, to surprise the opponent and be decisive in a fight challenge.

One may consider the psychometric and behavioral variables (Hönekopp et al., 2006) discussed—that the relationship between physical fitness and low 2D:4D may be mediated through exercise frequency, suggesting that

the organizational effects of prenatal T may predict a type of behavior that interferes with exercise frequency, and adequate periodization leads to increased strength and performance in male athletes. In our study population, all athletes reported up to 1:30 h/day training. However, we did not examine the relationship between 2D:4D and training frequency, as in Brazil, most MMA practitioners (whether professionals or amateurs) are not full-time athletes, which may impact recovery and training adaptations. From a practical perspective, the individual athlete's psychology and perceptual responses to a stimulus is a complex and multi-faceted phenomenon, which might arise due to a variety of different mechanisms. Performance measures represent the most sport-specific outcomes but psychological measures are modulated by several genetic and epigenetic factors, which clarify our findings.

Our findings suggest that, within a similar physically active group of MMA athletes, the correlation we found between left 2D:4D and the HGS index may reflect T organizational effects. One essential aspect of the practical application of the present research is that prior 2D:4D, HGS, and psychological factor screening might provide efficient data for analyses and important feedback to determine key performance predictors in a particular competition, but this aspect does not explain full sports performances and it needs to be included with other fitness measures. The complexities and profound variabilities in muscle functioning highlight the need to better understand the multidimensional array of interacting factors that determine the trajectory of combat sports performances. Additionally, there should be further longitudinal studies with larger samples of athletes to confirm a relationship between 2D:4D in both hands and HGS in this specific population. Follow-up studies should be conducted to shed light on the behaviors of these athletes.

On the other hand, a significant result of the current study was that there was no significant association between prenatal androgenization and win outcome. Considering these findings, and as a possible explanation, we speculate that MMA sports performance is a complex and multi-faceted phenomenon, which might require a variety of demands, including technical, physical, biological, and sensorimotor skills. Consequently, there are a substantial number of techniques available to athletes and a broad variety of methods or strategies used to accomplish victories. In this sense, knowing multiple combinations of factors might determine a win at the highest level of MMA competition.

Some limitations of the present study should be highlighted. Our sample represents a few MMA gym experiences, limiting the generalizability of the results. The cross-sectional nature of this study prevents the ability to identify any causal relationship between study variables and outcomes. Although 2D:4D is recognized as a biomarker of prenatal T and participants with osteo fractures were excluded from the study (due to well-known risk factors from sports practice accidents, such as dislocating the phalanx), some residual confounders of measure could not be completely ruled out. Another important limitation is that testosterone levels were not assessed in this study. Although hormone measures are usually highly variable, future studies should address testosterone concentrations at both baseline and challenging conditions. Important outcomes, such as training experience, familiar income, and mental health disorders, were not evaluated. In future studies, the focus should be on researching distinct training levels and holistic assessment models of athletes.

5. Conclusions

In summary, MMA male athletes presented lower 2D:4D ratios in both hands than the control group. We observed that left hand 2D:4D was negatively correlated with HGS and LBM in professional athletes but it did not determine wins in MMA. Interestingly, these athletes presented significant differences in psychometric variables: lower BFI agreeableness, higher BFI openness, and lower BPAQ anger than the control group. Beyond this, BPAQ

anger was also positively correlated with 2D:4D in both hands (in professional athletes and non-athletes). These findings suggest that including the 2D:4D measurement (in conjunction with other measures) is important in determining potential athleticism or talent in MMA.

Author Contributions: Conceptualization, N.F.C., I.V.d.S.N., E.R.J., and A.J.M.A.; methodology, N.F.C. and A.J.M.A.; formal analysis, N.F.C., I.V.d.S.N., and A.J.M.A.; investigation, N.F.C., I.V.d.S.N., E.R.J., and A.J.M.A.; resources, N.F.C., I.V.d.S.N., E.R.J., and A.J.M.A.; data curation, N.F.C. and I.V.d.S.N.; writing—original draft preparation, N.F.C., I.V.d.S.N., E.R.J., and A.J.M.A.; writing—review and editing, N.F.C., I.V.d.S.N., E.R.J., and A.J.M.A.; visualization, N.F.C., I.V.d.S.N., E.R.J., and A.J.M.A.; supervision, E.R.J. and A.J.M.A.; project administration, N.F.C. and A.J.M.A.; funding acquisition, A.J.M.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This publication was financed in part by the Support for International Scientific Publications, from Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação (PRPPG) of the University of Paraná (UFPR). This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior–Brasil (CAPES)—finance code 001.

Institutional Review Board Statement: The study was approved by the Institutional Research Ethics Committee of University of Parana (protocol 91580318.6.0000.0102). The study design and employed procedures were in accordance with ethical standards and the Declaration of Helsinki.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all participants involved in the study.

Data Availability Statement: The datasets used and/or analyzed in the current study will be made available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgments: We thank all volunteers for participating. AJMA is fellowship recipient from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Brazil)

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Davison, R.C.R.; van Someren, K.A.; Jones, A.M. Physiological Monitoring of the Olympic Athlete. *J. Sports Sci.* **2009**, *27*, 1433–1442. <https://doi.org/10.1080/02640410903045337>.
2. Buxens, A.; Ruiz, J.R.; Arteta, D.; Artieda, M.; Santiago, C.; González-Freire, M.; Martínez, A.; Tejedor, D.; Lao, J.I.; Gómez-Gallego, F.; et al. Can We Predict Top-Level Sports Performance in Power vs Endurance Events? A Genetic Approach. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* **2011**, *21*, 570–579. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01079.x>.
3. Manning, J.T.; Scutt, D.; Wilson, J.; Lewis-Jones, D.I. The Ratio of 2nd to 4th Digit Length: A Predictor of Sperm Numbers and Concentrations of Testosterone, Luteinizing Hormone and Oestrogen. *Hum. Reprod.* **1998**, *13*, 3000–3004. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>.
4. Zheng, U.; Cohn, M.J. Developmental Basis of Sexually Dimorphic Digit Ratios. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2011**, *108*, 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>.
5. Ribeiro, E.; Neave, N.; Morais, R.N.; Kilduff, L.; Taylor, S.R.; Butovskaya, M.; Fink, B.; Manning, J.T. Digit Ratio (2D:4D), Testosterone, Cortisol, Aggression, Personality and Hand-Grip Strength: Evidence for Prenatal Effects on Strength. *Early Hum. Dev.* **2016**. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2016.04.003>.
6. Kilduff, L.; Cook, C.J.; Bennett, M.; Crewther, B.; Bracken, R.M.; Manning, J. Right-Left Digit Ratio (2D:4D) Predicts Free Testosterone Levels Associated with a Physical Challenge. *J. Sports Sci.* **2013**, *31*, 677–683. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.747690>.
7. Manning, J.T.; Taylor, R.P. Second to Fourth Digit Ratio and Male Ability in Sport: Implications for Sexual Selection in Humans. *Evol. Hum. Behav.* **2001**, *22*, 61–69. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(00)00063-5).

8. Manning, J.T.; Morris, L.; Caswell, N. Endurance Running and Digit Ratio (2D:4D): Implications for Fetal Testosterone Effects on Running Speed and Vascular Health. *Am. J. Hum. Biol.* **2007**, *19*, 416–421. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20603>.
9. Hill, R.; Simpson, B.; Manning, J.; Kilduff, L. Right-Left Digit Ratio (2D: 4D) and Maximal Oxygen Uptake. *J. Sports Sci.* **2012**, *30*, 129–134. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637947>.
10. Hönekopp, J.; Schuster, M. A Meta-Analysis on 2D:4D and Athletic Prowess: Substantial Relationships but Neither Hand out-Predicts the Other. *Pers. Individ. Dif.* **2010**, *48*, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.08.009>.
11. Adamczyk, J.G.; Safranow, K.; Gajewski, A.K.; Boguszewski, D.; Sozański, H.; Sołtyszewski, I.; Peplowska, B.; Cieszczyk, P.; Siewierski, M.; Zekanowski, C. The Second-to-Fourth Digit (2D:4D) Ratio of Male Combat Athletes Is Associated with the Choice of Sport. *J. Hum. Kinet.* **2021**, *78*, 59–66. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0083>.
12. Kociuba, M.; Kozielec, S.; Chakraborty, R.; Ignasiak, Z. Sports Preference and Digit Ratio (2D:4D) Among Female Students in Wrocław, Poland. *J. Biosoc. Sci.* **2017**, *49*, 623–633. <https://doi.org/10.1017/S0021932016000523>.
13. Tamiya, R.; Lee, S.Y.; Ohtake, F. Second to Fourth Digit Ratio and the Sporting Success of Sumo Wrestlers. *Evol. Hum. Behav.* **2012**, *33*, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2011.07.003>.
14. Keshavarz, M.; Bayati, M.; Farzad, B.; Dakhili, A.; Agha-Alinejad, H. The Second to Fourth Digit Ratio in Elite and Non-Elite Greco-Roman Wrestlers. *J. Hum. Kinet.* **2017**, *60*, 145–151. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0097>.
15. James, L.P.; Haff, G.G.; Kelly, V.G.; Beckman, E.M. Towards a Determination of the Physiological Characteristics Distinguishing Successful Mixed Martial Arts Athletes: A Systematic Review of Combat Sport Literature. *Sport. Med.* **2016**, *46*, 1525–1551. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0493-1>.
16. Kostikiadis, I.N.; Methenitis, S.; Tsoukos, A.; Veligeas, P.; Terzis, G.; Bogdanis, G.C. The Effect of Short-Term Sport-Specific Strength and Conditioning Training on Physical Fitness of Well-Trained Mixed Martial Arts Athletes. *J. Sport. Sci. Med.* **2018**, *17*, 348–358.
17. Franchini, E.; Schwartz, J.; Takito, M.Y. Maximal Isometric Handgrip Strength: Comparison between Weight Categories and Classificatory Table for Adult Judo Athletes. *J. Exerc. Rehabil.* **2018**, *14*, 968–973. <https://doi.org/10.12965/jer.1836396.198>.
18. Sharpe, R.M. Pathways of Endocrine Disruption during Male Sexual Differentiation and Masculinisation. *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* **2006**, *20*, 91–110. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2005.09.005>.
19. Nelson, J.K.; Thomas, J.R.; Nelson, K.R.; Abraham, P.C. Gender Differences in Children's Throwing Performance: Biology and Environment. *Res. Q. Exerc. Sport* **1986**, *57*, 280–287. <https://doi.org/10.1080/02701367.1986.10608088>.
20. Hönekopp, J.; Manning, J.T.; Müller, C. Digit Ratio (2D:4D) and Physical Fitness in Males and Females: Evidence for Effects of Prenatal Androgens on Sexually Selected Traits. *Horm. Behav.* **2006**. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2005.11.006>.
21. Bojanić, Ž.; Nedeljković, J.; Šakan, D.; Mitić, P.M.; Milovanović, I.; Drid, P. Personality Traits and Self-Esteem in Combat and Team Sports. *Front. Psychol.* **2019**, *10*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02280>.
22. Faul, F.; Erdfelder, E.; Lang, A.G.; Buchner, A. G*Power 3: A Flexible Statistical Power Analysis Program for the Social, Behavioral, and Biomedical Sciences. *Behav. Res. Methods* **2007**, *39*, 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>.
23. Siri, W.E. Body Composition from Fluid Spaces and Density: Analysis of Methods. 1961. *Nutrition* **1993**, *9*, 480–491; discussion 480, 492.
24. Jackson, A.S.; Pollock, M.L. Generalized Equations for Predicting Body Density of Men. *Br. J. Nutr.* **1978**, *40*, 497–504. <https://doi.org/10.1079/bjn19780152>.
25. Quetelet, A. *Anthropométrie Ou Mesure Des Différentes Facultés de l'homme*; Bruxelles, Belgium. C. Muquardt: 1871;.
26. Johansson, C.A.; Kent, B.E.; Shepard, K.F. Relationship between Verbal Command Volume and Magnitude of Muscle Contraction. *Phys. Ther.* **1983**, *63*, 1260–1265. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.8.1260>.
27. Heyward, V.H. *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*; 7th ed.; Human Kinetics: 2014; Volume 24.
28. Del Coso, J.; Pérez-López, A.; Abian-Vicen, J.; Salinero, J.J.; Lara, B.; Valadés, D. Enhancing Physical Performance in Male Volleyball Players with a Caffeine-Containing Energy Drink. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2014**, *9*, 1013–1018. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0448>.

29. Bohannon, R.W. Grip Strength: A Summary of Studies Comparing Dominant and Nondominant Limb Measurements. *Percept. Mot. Skills* **2003**, *96*, 728–730. <https://doi.org/10.2466/pms.2003.96.3.728>.
30. Kulkamp, W.; Dias, J.A.; Domenech, S.C.; Borges Junior, N.G.; Gevaerd, M. da S. Comparação Do Desempenho de Praticantes de Exercícios Resistidos Por Diferentes Métodos de Ajuste Pela Massa Corporal. *Rev. Bras. Cineantropometria e Desempenho Hum.* **2012**, *14*, 313–323. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2012v14n3p313>.
31. de Andrade, J.M. Universidade de Brasília Evidências de Validade Do Inventário Dos Cinco Grandes Fatores de Personalidade Para o Brasil Josemberg Moura de Andrade. **2008**, *169*.
32. John, O.P.; Srivastava, S. The Big Five Trait Taxonomy: History, Measurement, and Theoretical Perspectives. *Handb. Personal. Theory Res.* **1999**, *1*, 102–138.
33. Soto, C.J.; John, O.P.; Gosling, S.D.; Potter, J. The Developmental Psychometrics of Big Five Self-Reports: Acquiescence, Factor Structure, Coherence, and Differentiation From Ages 10 to 20. *J. Pers. Soc. Psychol.* **2008**, *94*, 718–737. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.94.4.718>.
34. Buss, A. H.; Durkee, A. An Inventory for Assessing Different Kinds of Hostility. *J. Consult. Psychol.* **1957**, *21*, 343.
35. Gouveia, V. V.; Chaves, C.M.C.M.; Peregrino, R.R.; Castello Branco, A.O.; Gonçalves, M.P. Measuring Aggression: The Buss-Perry Questionnaire. *Arq. Bras. Psicol.* **2008**, *60*, 92–103.
36. Ferreira, V.; Januário, N.; Martins, P.; Ayala, A.; Gonçalves, A.; Sousa, E.; Machado, A.R. *Atitudes Face Ao Desporto e Comportamentos Agressivos: Comparação Entre Andebolistas e Basquetebolistas Attitudes to Sport and Aggressive Behaviors: Comparison of Handball against Basketball Players*; Instituto Politécnico de Bragança: Bragança, Portugal, 2018; Volume 10, pp. 18–34.
37. Callegari-Jacques, S.M. *Bioestatística: Princípios e Aplicações*; Artmed Editora: Porto Alegre, Brazil, 2009; ISBN 8536311444.
38. Smoliga, J.M.; Fogaca, L.K.; Siplon, J.S.; Goldburt, A.A.; Jakobs, F. Giving Science the Finger—Is the Second-to-Fourth Digit Ratio (2D:4D) a Biomarker of Good Luck A Cross Sectional Study. *BMJ* **2021**, *375*, e067849. <https://doi.org/10.1136/bmj-2021-067849>.
39. Krakowiak, H.; Čabrić, Milan. Sokołowska, E. Digit Ratio (2D : 4D) and Body Composition in Athletes Wskaźnik Palcowy (2D : 4D) a Skład Ciała U Sportowców. *Medical and Biological Sciences.* **2013**, *27*(4), 33–37.
40. Andrade, A.; Flores, M.A.J.; Andreato, L. V.; Coimbra, D.R. Physical and Training Characteristics of Mixed Martial Arts Athletes: Systematic Review. *Strength Cond. J.* **2019**, *41*, 51–63.
41. Hone, L.S.E.; McCullough, M.E. 2D:4D Ratios Predict Hand Grip Strength (but Not Hand Grip Endurance) in Men (but Not in Women). *Evol. Hum. Behav.* **2012**, *33*, 780–789. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2012.07.003>.
42. Georgiev, A.V.; Ryan, C.P.; Gettler, L.T.; McDade, T.W.; Kuzawa, C.W. Second-to-Fourth Digit Ratio (2D:4D) Is Unrelated to Measures of Somatic Reproductive Effort among Young Men from Cebu, the Philippines. *Am. J. Phys. Anthropol.* **2017**, *163*, 437–445. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23215>.
43. Millet, K.; Dewitte, S. Digit Ratio (2D:4D) Moderates the Impact of an Aggressive Music Video on Aggression. *Pers. Individ. Dif.* **2007**, *43*, 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.11.024>.
44. Lafuente, J.C.; Zubiaur, M.; Gutiérrez-García, C. Effects of Martial Arts and Combat Sports Training on Anger and Aggression: A Systematic Review. *Aggress. Violent Behav.* **2021**, *58*, 101611. <https://doi.org/10.1016/j.avb.2021.101611>.
45. Stanković, N.; Todorović, D.; Milošević, N.; Mitrović, M.; Stojiljković, N. Aggressiveness in Judokas and Team Athletes: Predictive Value of Personality Traits, Emotional Intelligence and Self-Efficacy. *Front. Psychol.* **2022**, *12*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.824123>.
46. Tok, S. The Big Five Personality Traits and Risky Sport Participation. *Soc. Behav. Pers.* **2011**, *39*, 1105–1112. <https://doi.org/10.2224/sbp.2011.39.8.1105>.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi investigada a associação entre a força de preensão palmar e massa corporal magra com 2D:4D em atletas de MMA, além de variáveis psicométricas e 2D:4D em atletas e não atletas de MMA. A hipótese inicial do presente estudo foi parcialmente confirmada, revelando que atletas de MMA apresentaram menor 2D:4D em relação ao grupo controle em ambas as mãos. Além disso, encontramos uma correlação negativa significativamente moderada entre 2D:4D da mão esquerda e FPM em atletas profissionais e amadores de MMA. Também foi observada uma correlação negativa entre 2D:4D da mão esquerda e MM em atletas profissionais.

Ademais, encontramos diferenças em relação às variáveis psicométricas, ou seja, menor BFI-amabilidade e BPAQ-raiva e maiores escores de BFI-abertura em atletas profissionais do que em controles. Houve uma correlação positiva entre a BPAQ- raiva e 2D:4D em ambas as mãos em todos os indivíduos. No entanto, não observamos associações substanciais entre outras variáveis psicométricas ou desfecho de vitórias com 2D:4D.

Além disso, observou-se que um menor 2D:4D está associado a um menor percentual de gordura corporal, maior conteúdo mineral ósseo e maior densidade mineral óssea, especialmente em homens, o que pode estar relacionado à exposição pré-natal de andrógenos (Smoliga et al., 2021). É possível que a massa muscular indiretamente ajuda a melhorar o wrestling e o grappling, melhorando as chances de nocautear o oponente, tornando mais difícil para o oponente derrubá-lo. Embora a relação entre a proporção 2D:4D e as características físicas ainda não esteja totalmente esclarecida, os andrógenos são considerados benéficos para o desempenho atlético por exercerem efeitos positivos no tecido muscular. Portanto, a proporção 2D:4D se mostra potencialmente útil na avaliação da predisposição para praticar certas modalidades esportivas.

No presente estudo, optamos por realizar o teste de correlação entre FPM e androgenização pré-natal apenas nas atletas, para evitar fatores de confusão, como grandes diferenças na aptidão física. Apesar do estudo mencionado anteriormente (Georgiev et al., 2017) ter controlado estatisticamente as análises para prática de atividades físicas (basquete e levantamento de peso), a especificidade da modalidade praticada e os aspectos recreativos, e não profissionais da prática, influenciam a frequência, intensidade e tempo de treinamento, o que pode interferir nos valores FPM. Curiosamente, um achado importante foi que a FPM pode estar negativamente relacionada ao 2D:4D na mão esquerda em atletas de MMA.

Outro achado do presente estudo, foram níveis mais baixos de raiva do BPAQ em atletas de MMA, o que está de acordo com a visão de que esportes de combate podem diminuir a raiva e ajudar os indivíduos a adquirir autocontrole emocional (Lafuente et al., 2021) no entanto, não encontramos diferenças na agressão física. Além disso, análises superficiais de nossos dados (não publicadas) descartaram a associação entre BPAQ-raiva e FPM. Embora as artes marciais e os esportes de combate sejam frequentemente associados à agressividade pelo público em geral, há evidências de menor agressividade manifestada verbal e física em praticantes de esportes de combate (ou seja, judô) em comparação com esportes coletivos (Stanković et al., 2022). Assim, com base nos resultados aqui encontrados e nas investigações de outros pesquisadores, pode-se afirmar que o comportamento agressivo pode ser alterado, modificado, aliviado ou retardado por meio de rotinas de treinamento.

É importante considerar também as variáveis psicométricas e comportamentais (Hönekopp et al., 2006) discutidas – que a relação entre aptidão física e baixo 2D:4D pode ser mediada pela frequência de exercícios, sugerindo que os efeitos organizacionais do T pré-natal podem prever um tipo de comportamento que interfere na frequência do exercício, e a periodização adequada leva ao aumento da força e do desempenho em atletas do sexo masculino.

Em nossa população de estudo, todos os atletas relataram até 1:30 h/dia de treinamento. No entanto, não examinamos a relação entre 2D:4D e frequência de treinamento, pois no Brasil, a maioria dos praticantes de MMA (sejam profissionais ou amadores) não são atletas em tempo integral, o que pode impactar na recuperação e nas adaptações dos treinos. Do ponto de vista prático, a psicologia individual do atleta e as respostas perceptivas a um estímulo é um fenômeno complexo e multifacetado, que pode surgir devido a uma variedade de mecanismos. As medidas de desempenho representam os resultados mais específicos do esporte, mas as medidas psicológicas são moduladas por vários fatores genéticos e epigenéticos, que esclarecem nossos achados.

Algumas limitações do presente estudo devem ser destacadas. Nossa amostra representa algumas experiências em academias de MMA, limitando a generalização dos resultados. A natureza transversal deste estudo impede a capacidade de identificar qualquer relação causal entre as variáveis do estudo e os resultados. Embora o 2D:4D seja reconhecido como um

biomarcador de T pré-natal e os participantes com osteofraturas tenham sido excluídos do estudo (devido a fatores de risco bem conhecidos de acidentes na prática esportiva, como o deslocamento da falanges), alguns fatores de confusão residuais de medida não puderam ser completamente descartados. Outra limitação importante é que os níveis de testosterona não foram avaliados neste estudo. Embora as medidas hormonais sejam geralmente altamente variáveis, estudos futuros devem abordar as concentrações de testosterona em condições basais e desafiadoras. Resultados importantes, como experiência de treinamento, renda familiar e transtornos de saúde mental, não foram avaliados. Em estudos futuros, o foco deve estar na pesquisa de distintos níveis de treinamento e modelos holísticos de avaliação de atletas.

Em resumo, os atletas de MMA do sexo masculino apresentaram razão 2D4D menor do que o grupo controle em ambas as mãos. Encontramos correlação significativa negativa moderada entre 2D4D da mão esquerda e FPM em atletas profissionais. Além disso, esses atletas apresentaram diferenças significativas em relação às variáveis psicométricas: menor amabilidade do BFI, maior abertura do BFI e menor QPA do grupo controle. Além disso, BPAQ-raiva teve correlação positiva com 2D:4D em ambas as mãos, nos grupos de atletas e controle. Esses achados sugerem que incluir a medição 2D:4D em conjunto com outras medidas é importante para determinar o potencial atletismo no esporte de MMA.

6 REFERÊNCIAS

- Adamczyk, J. G., Safranow, K., Gajewski, A. K., Boguszewski, D., Sozański, H., Sołtyszewski, I., Pepłońska, B., Ciężczyk, P., Siewierski, M., & Zekanowski, C. (2021). The Second-to-Fourth Digit (2D:4D) Ratio of Male Combat Athletes is Associated with the Choice of Sport. *Journal of Human Kinetics*, 78(1), 59–66. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0083>
- Andrade, A., Flores, M. A. J., Andreato, L. V., & Coimbra, D. R. (2019). Physical and Training Characteristics of Mixed Martial Arts Athletes: Systematic Review. *Strength & Conditioning Journal*, 41(1). https://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/2019/02000/Physical_and_Training_Characteristics_of_Mixed.5.aspx
- Andrade, J. M. de. (2008). *Universidade de Brasília Evidências de Validade do Inventário dos Cinco Grandes Fatores de Personalidade para o Brasil Josemberg Moura de Andrade*. 169.
- Bailey, A. A., & Hurd, P. L. (2005). Finger length ratio (2D:4D) correlates with physical aggression in men but not in women. *Biological Psychology*, 68(3), 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.05.001>
- Berenbaum, S A., & Resnick, S. M. (1997). Early androgen effects on aggression in children and adults with congenital adrenal hyperplasia. *Psychoneuroendocrinology*, 22(7), 505–515. [https://doi.org/10.1016/s0306-4530\(97\)00049-8](https://doi.org/10.1016/s0306-4530(97)00049-8)
- Berenbaum, Sheri A., & Beltz, A. M. (2011). Sexual differentiation of human behavior: Effects of prenatal and pubertal organizational hormones. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 32(2), 183–200. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2011.03.001>
- Bohannon, R. W. (2003). Grip strength: A summary of studies comparing dominant and nondominant limb measurements. *Perceptual and Motor Skills*, 96(3 I), 728–730. <https://doi.org/10.2466/pms.2003.96.3.728>
- Bojanić, Ž., Nedeljković, J., Šakan, D., Mitić, P. M., Milovanović, I., & Drid, P. (2019). Personality Traits and Self-Esteem in Combat and Team Sports. *Frontiers in Psychology*, 10(October), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02280>
- 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(4), 380–386. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1830>
- Buss, Arnold H. & Durkee, A. (1957). An inventory for assessing different kinds of hostility. *Journal of Consulting Psychology*, 21(4), 343.

- Buss, A. H., & Perry, M. (1992). The Aggression Questionnaire. *Journal of Personality and Social Psychology*, 63(3), 452–459. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.63.3.452>
- Buxens, A., Ruiz, J. R., Arteta, D., Artieda, M., Santiago, C., González-Freire, M., Martínez, A., Tejedor, D., Lao, J. I., Gómez-Gallego, F., & Lucia, A. (2011). Can we predict top-level sports performance in power vs endurance events? A genetic approach. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(4), 570–579. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01079.x>
- Callegari-Jacques, S. M. (2009). *Bioestatística: princípios e aplicações*. Artmed Editora.
- 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(15), 3181–3186. <https://doi.org/10.1093/nar/22.15.3181>
- Davison, R. C. R., van Someren, K. A., & Jones, A. M. (2009). Physiological monitoring of the olympic athlete. *Journal of Sports Sciences*, 27(13), 1433–1442. <https://doi.org/10.1080/02640410903045337>
- Dean, A., & Sharpe, R. M. (2013). Anogenital distance or digit length ratio as measures of fetal androgen exposure: Relationship to male reproductive development and its disorders. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 98(6), 2230–2238. <https://doi.org/10.1210/jc.2012-4057>
- Del Coso, J., Pérez-López, A., Abian-Vicen, J., Salinero, J. J., Lara, B., & Valadés, D. (2014). Enhancing physical performance in male volleyball players with a caffeine-containing energy drink. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1013–1018. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0448>
- Ernst, M., Maheu, F. S., Schroth, E., Hardin, J., Golan, L. G., Cameron, J., Allen, R., Holzer, S., Nelson, E., Pine, D. S., & Merke, D. P. (2007). Amygdala function in adolescents with congenital adrenal hyperplasia: A model for the study of early steroid abnormalities. *Neuropsychologia*, 45(9), 2104–2113. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.01.019>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Ferreira, Vítor. Januário, Nuno. Martins, Paulo. Ayala, Ana. Gonçalves, Aida. Sousa, Edgar. Machado, A. R. (2018). *Atitudes Face ao Desporto e Comportamentos agressivos: comparação entre Andebolistas e Basquetebolistas Attitudes to sport and Aggressive*

- behaviors: comparison of Handball against Basketball players. 10(2), 18–34.*
- Franchini, E., Schwartz, J., & Takito, M. Y. (2018). Maximal isometric handgrip strength: Comparison between weight categories and classificatory table for adult judo athletes. *Journal of Exercise Rehabilitation, 14(6)*, 968–973.
<https://doi.org/10.12965/jer.1836396.198>
- Galis, F., Ten Broek, C. M. A., Van Dongen, S., & Wijnaendts, L. C. D. (2010). Sexual dimorphism in the prenatal digit ratio (2D:4D). *Archives of Sexual Behavior, 39(1)*, 57–62. <https://doi.org/10.1007/s10508-009-9485-7>
- George, R., & Study, S. O. F. (n.d.). *Human finger t17pes*. 199–204.
- Georgiev, A. V., Ryan, C. P., Gettler, L. T., McDade, T. W., & Kuzawa, C. W. (2017). Second-to-fourth digit ratio (2D:4D) is unrelated to measures of somatic reproductive effort among young men from Cebu, the Philippines. *American Journal of Physical Anthropology, 163(3)*, 437–445. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23215>
- Gouveia, V. V., Chaves, C. M. C. M., Peregrino, R. R., Castello Branco, A. O., & Gonçalves, M. P. (2008). Measuring aggression: The Buss-Perry Questionnaire. *Arquivos Brasileiros de Psicologia, 60(3)*, 92–103.
- Heyward, V. H. (2014). Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. In *Medicine and Science in Sports and Exercise* (7th ed., Vol. 24, Issue 2). Human kinetics.
<https://doi.org/10.1249/00005768-199202000-00023>
- Hill, R., Simpson, B., Manning, J., & Kilduff, L. (2012). Right-left digit ratio (2D: 4D) and maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Sciences, 30(2)*, 129–134.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637947>
- Hone, L. S. E., & McCullough, M. E. (2012). 2D:4D ratios predict hand grip strength (but not hand grip endurance) in men (but not in women). *Evolution and Human Behavior, 33(6)*, 780–789. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2012.07.003>
- Hönekopp, 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(1)*, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.08.009>
- Hönekopp, J., T. Manning, J., & Müller, 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. https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2005.11.006*
- Huang, P.-C., Kuo, P.-L., Chou, Y.-Y., Lin, S.-J., & Lee, C.-C. (2009). Association between prenatal exposure to phthalates and the health of newborns. *Environment International, 35(1)*, 14–20.

- Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*, 40(3), 497–504. <https://doi.org/10.1079/bjn19780152>
- James, L. P., Haff, G. G., Kelly, V. G., & Beckman, E. M. (2016). Towards a Determination of the Physiological Characteristics Distinguishing Successful Mixed Martial Arts Athletes: A Systematic Review of Combat Sport Literature. *Sports Medicine*, 46(10), 1525–1551. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0493-1>
- Johansson, C. A., Kent, B. E., & Shepard, K. F. (1983). Relationship between verbal command volume and magnitude of muscle contraction. *Physical Therapy*, 63(8), 1260–1265. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.8.1260>
- John, O. P., & Srivastava, S. (1999). The Big Five trait taxonomy: History, measurement, and theoretical perspectives. *Handbook of Personality: Theory and Research*.
- Kazemi-Esfarjani, P., Trifiro, M. A., & Pinsky, L. (1995). Evidence for a repressive function of the long polyglutamine tract in the human androgen receptor: possible pathogenetic relevance for the (CAG)_n-expanded neuronopathies. *Human Molecular Genetics*, 4(4), 523–527. <https://doi.org/10.1093/hmg/4.4.523>
- Keshavarz, M., Bayati, M., Farzad, B., Dakhili, A., & Agha-Alinejad, H. (2017). The Second to Fourth Digit Ratio in Elite and Non-Elite Greco-Roman Wrestlers. *Journal of Human Kinetics*, 60(1), 145–151. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0097>
- Kilduff, L., Cook, C. J., Bennett, M., Crewther, B., Bracken, R. M., & Manning, J. (2013). Right-left digit ratio (2D:4D) predicts free testosterone levels associated with a physical challenge. *Journal of Sports Sciences*, 31(6), 677–683. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.747690>
- Kociuba, M., Kozieł, S., Chakraborty, R., & Ignasiak, Z. (2017). Sports Preference and Digit Ratio (2D:4D) Among Female Students in Wrocław, Poland. *Journal of Biosocial Science*, 49(5), 623–633. <https://doi.org/10.1017/S0021932016000523>
- Kostikiadis, I. N., Methenitis, S., Tsoukos, A., Veligekas, P., Terzis, G., & Bogdanis, G. C. (2018). The effect of short-term sport-specific strength and conditioning training on physical fitness of well-trained mixed martial arts athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 17(3), 348–358.
- Krakowiak, H., & Čabrić, Milan. Sokołowska, E. (2013). *Digit Ratio (2D : 4D) and Body Composition in Athletes Wskaźnik Palcowy (2D : 4D) a Skład Ciała U Sportowców*. 33–37.
- Külkamp, W., Dias, J. A., Domenech, S. C., Borges Junior, N. G., & Gevaerd, M. da S. (2012). Comparação do desempenho de praticantes de exercícios resistidos por diferentes

- métodos de ajuste pela massa corporal. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 14(3), 313–323. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2012v14n3p313>
- Lafuente, J. C., Zubiaur, M., & Gutiérrez-García, C. (2021). Effects of martial arts and combat sports training on anger and aggression: A systematic review. *Aggression and Violent Behavior*, 58(July 2020), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.avb.2021.101611>
- Lenetsky, S., & Harris, N. (2012). The Mixed Martial Arts Athlete: A Physiological Profile. *Strength & Conditioning Journal*, 34(1). https://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/2012/02000/The_Mixed_Martial_Arts_Athlete__A_Physiological.5.aspx
- 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(1–2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2003.12.002>
- 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(11), 3000–3004. <https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000>
- Manning, John 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(6), 399–405. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(03\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(03)00052-7)
- Manning, John 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(3), 416–421. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20603>
- Manning, John 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(1), 61–69. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(00\)00063-5](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(00)00063-5)
- Mathews, G. A., Fane, B. A., Conway, G. S., Brook, C. G. D., & Hines, M. (2009). Personality and congenital adrenal hyperplasia: Possible effects of prenatal androgen exposure. *Hormones and Behavior*, 55(2), 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2008.11.007>
- Merke, D. P., Fields, J. D., Keil, M. F., Vaituzis, A. C., Chrousos, G. P., & Giedd, J. N. (2003). Children with classic congenital adrenal hyperplasia have decreased amygdala volume: Potential prenatal and postnatal hormonal effects. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 88(4), 1760–1765. <https://doi.org/10.1210/jc.2002->

021730

- Millet, K., & Dewitte, S. (2007). Digit ratio (2D:4D) moderates the impact of an aggressive music video on aggression. *Personality and Individual Differences*, 43(2), 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.11.024>
- Nelson, J. K., Thomas, J. R., Nelson, K. R., & Abraham, P. C. (1986). Gender differences in children's throwing performance: Biology and environment. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57(4), 280–287. <https://doi.org/10.1080/02701367.1986.10608088>
- Nunes, C. H. S. da S., & Hutz, C. S. (2007). Construção e validação da escala fatorial de Socialização no modelo dos Cinco Grandes Fatores de Personalidade. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 20(1), 20–25. <https://doi.org/10.1590/s0102-79722007000100004>
- Okten, A., Kalyoncu, M., & Yariş, N. (2002). The ratio of second- and fourth-digit lengths and congenital adrenal hyperplasia due to 21-hydroxylase deficiency. *Early Human Development*, 70(1–2), 47–54. [https://doi.org/10.1016/s0378-3782\(02\)00073-7](https://doi.org/10.1016/s0378-3782(02)00073-7)
- Papadopoulou, E., Vafeiadi, M., Agramunt, S., Basagaña, X., Mathianaki, K., Karakosta, P., Spanaki, A., Koutis, A., Chatzi, L., Vrijheid, M., & Kogevinas, M. (2013). Anogenital distances in newborns and children from Spain and Greece: Predictors, tracking and reliability. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 27(1), 89–99. <https://doi.org/10.1111/ppe.12022>
- Peichel, C. L., Prabhakaran, B., & Vogt, T. F. (1997). The mouse Ulnaless mutation deregulates posterior HoxD gene expression and alters appendicular patterning. *Development (Cambridge, England)*, 124(18), 3481–3492. <https://doi.org/10.1242/dev.124.18.3481>
- Perciavalle, V., Di Corrado, D., Petralia, M. C., Gurrisi, L., Massimino, S., & Coco, M. (2013). The second-to-fourth digit ratio correlates with aggressive behavior in professional soccer players. *Molecular Medicine Reports*. <https://doi.org/10.3892/mmr.2013.1426>
- PHELPS, V. R. (1952). Relative index finger length as a sex-influenced trait in man. *American Journal of Human Genetics*, 4(2), 72–89.
- Quetelet, A. (1871). *Anthropométrie ou mesure des différentes facultés de l'homme*. C. Muquardt.
- Ribeiro, E., Neave, N., Morais, R. N., Kilduff, L., Taylor, S. R., Butovskaya, M., Fink, B., & Manning, J. T. (2016). Digit ratio (2D:4D), testosterone, cortisol, aggression, personality and hand-grip strength: Evidence for prenatal effects on strength. *Early Human Development*. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2016.04.003>

- Robertson, J., Zhang, W., Liu, J. J., Muir, K. R., Maciewicz, R. A., & Doherty, M. (2008). Radiographic assessment of the index to ring finger ratio (2D:4D) in adults. *Journal of Anatomy*, 212(1), 42–48. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2007.00830.x>
- Salazar-Martinez, E., Romano-Riquer, P., Yanez-Marquez, E., Longnecker, M. P., & Hernandez-Avila, M. (2004). Anogenital distance in human male and female newborns: a descriptive, cross-sectional study. *Environmental Health*, 3(1), 1–6.
- Salvador, A., Suay, F., González-Bono, E., & Serrano, M. A. (2003). Anticipatory cortisol, testosterone and psychological responses to judo competition in young men. *Psychoneuroendocrinology*, 28(3), 364–375. [https://doi.org/10.1016/S0306-4530\(02\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0306-4530(02)00028-8)
- Sathyanarayana, S., Beard, L., Zhou, C., & Grady, R. (2010). Measurement and correlates of ano-genital distance in healthy, newborn infants. *International Journal of Andrology*, 33(2), 317–323. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.2009.01044.x>
- Sharpe, R. M. (2006). Pathways of endocrine disruption during male sexual differentiation and masculinisation. *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism*, 20(1), 91–110. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2005.09.005>
- Siri, W. E. (1993). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 9(5), 480–491; discussion 480, 492.
- Smoliga, J. M., Fogaca, L. K., Siplon, J. S., Goldbur, A. A., & Jakobs, F. (2021). Giving science the finger - Is the second-to-fourth digit ratio (2D:4D) a biomarker of good luck A cross sectional study. *The BMJ*, 375, 1–10. <https://doi.org/10.1136/bmj-2021-067849>
- Soto, C. J., John, O. P., Gosling, S. D., & Potter, J. (2008). The Developmental Psychometrics of Big Five Self-Reports: Acquiescence, Factor Structure, Coherence, and Differentiation From Ages 10 to 20. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(4), 718–737. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.94.4.718>
- Stanković, N., Todorović, D., Milošević, N., Mitrović, M., & Stojiljković, N. (2022). Aggressiveness in Judokas and Team Athletes: Predictive Value of Personality Traits, Emotional Intelligence and Self-Efficacy. *Frontiers in Psychology*, 12(January), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.824123>
- Sultan, C., Paris, F., Terouanne, B., Balaguer, P., Georget, V., Poujol, N., Jeandel, C., Lombroso, S., & Nicolas, J. (2001). Disorders linked to insufficient androgen action in male children. *Apmis*, 109(S103), S114–S123.
- Tamiya, R., Lee, S. Y., & Ohtake, F. (2012). Second to fourth digit ratio and the sporting

- success of sumo wrestlers. *Evolution and Human Behavior*, 33(2), 130–136.
<https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2011.07.003>
- Thankamony, A., Pasterski, V., Ong, K. K., Acerini, C. L., & Hughes, I. A. (2016). Anogenital distance as a marker of androgen exposure in humans. *Andrology*, 4(4), 616–625. <https://doi.org/10.1111/andr.12156>
- Tok, S. (2011). The Big Five personality traits and risky sport participation. *Social Behavior and Personality*, 39(8), 1105–1112. <https://doi.org/10.2224/sbp.2011.39.8.1105>
- Trivers, R., Manning, J., & Jacobson, A. (2006). A longitudinal study of digit ratio (2D:4D) and other finger ratios in Jamaican children. *Hormones and Behavior*, 49(2), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2005.05.023>
- Tsuruo, Y. (2005). Topography and function of androgen-metabolizing enzymes in the central nervous system. *Anatomical Science International*, 80(1), 1–11.
- Ultimate Fighting Championship, U. New MMA Rules—Part 2|UFC. Available online: <https://www.ufc.com.br/unified-rulesmixed-martial-arts> (accessed on 1 March 2022).
- Zheng, U., & Cohn, M. J. (2011). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(39), 16289–16294. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108312108>