



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Grao en Bioloxía

Memoria do Traballo de Fin de Grao

Estudo de caracteres humanos morfolóxicos externos: xenes implicados, análises poboacional e xenealóxico.

Estudio de caracteres humanos morfolóxicos externos: genes implicados, análisis poblacional y genealógico.

Study of external morphological human characters: genes involved, population and pedigree analysis.

Ángel Meilán Fernández
Septiembre, 2019

*Director(es) Académico(s): Graciela Estévez Pérez
Andrés Martínez Lage*

Don Andrés Martínez Lage, profesor titular do Departamento de Bioloxía da Facultade de Ciencias da Universidade da Coruña, e Dna. María Graciela Estévez Pérez, profesora titular do Departamento de Estatística e Investigación Operativa da Universidade da Coruña, autorizan a presentación do Traballo de Fin de Grao titulado ***"Estudo de caracteres humanos morfolóxicos externos: xenes implicados, análise poboacional e xenealóxico"*** presentado polo alumno **Ángel Meilán Fernández**, para a súa defensa ante o tribunal cualificador o vindeiro luns 9 de setembro de 2019.

En A Coruña, 9 de setembro do 2019

Asinado: Andrés Martínez Lage

Asinado: Graciela Estévez Pérez

ÍNDICE

Resumen/Resumo/Summary
Palabras clave

1. Introducción.....	7
2. Objetivos	9
3. Material y métodos	10
4. Resultados	14
5. Discusión	22
6. Conclusiones / Conclusions	23
7. Bibliografía.....	24

RESUMEN

La diversidad en la apariencia humana responde principalmente a la gran cantidad de caracteres morfológicos externos que presentamos como especie. Estos, a su vez, van a depender de su expresión genética que está condicionada por los factores ambientales, el carácter, etc. En este trabajo estudiaremos dos en concreto, el ratio 2D:4D (diferencia de longitud entre el dedo índice y el dedo anular de cada mano) y del ratio 1D:2D (diferencia de tamaño entre el primer dedo del pie y el segundo). Se compararán estos ratios de las cuatro extremidades de nuestro cuerpo en dos poblaciones: la primera muestreada al azar y formada por 30 individuos, donde compararemos cada ratio en función del sexo, de la tendencia a ser zurdo o diestro y en función de cada lado del cuerpo; la segunda conformada por una familia con tres generaciones donde analizaremos como influyen los mismos rasgos que en la anterior. Los resultados reflejan que no existen diferencias significativas entre los miembros izquierdo y derecho a partir de los individuos analizados. Además también se comprueba que no existe una asociación entre los ratios estudiados y las variables con las que se comparaban.

RESUMO

A diversidade na aparencia humana responde principalmente á gran cantidade de caracteres morfolóxicos externos que presentamos como especie. Estes, á súa vez, dependen da súa expresión xenética, condicionada por factores ambientais, o carácter, etc. Neste traballo estudaranse dous en concreto, o ratio 2D:4D (diferenza de lonxitude entre o dedo índice e o dedo anular de cada man) e o ratio 1D:2D (diferenza de tamaño entre o primeiro dedo do pé e o segundo). Compararanse estes ratios das catro extremidades do noso corpo en dúas poboacións: a primeira mostreada ó azar formada por 30 individuos, nela analizaranse cada ratio en función do sexo, da tendencia a ser zurdo ou destro e en función de cada lado do corpo; a segunda fórmana una familia con tres xeracións onde estudaremos a influencia dos mesmos rasgos comentados anteriormente. Os nosos resultados reflicten que non existen diferenzas significativas entre os membros esquerdo e dereito a partires dos individuos analizados. Ademais conclúese que non existe una asociación entre os ratios estudados e as variables coas que se comparaban.

SUMMARY

There are a lot of external morphological human characters which differentiate us from each other. These will depend on their genetic expression that is conditioned by environmental factors, character, etc. In this work we study two in particular, the 2D:4D ratio (difference in length between the index finger and the ring finger of each hand) and the 1D: 2D ratio (size difference between the first toe and the second toe). These four ratios will be compared in two populations: the first randomly sampled and formed by 30 individuals, where we will compare each ratio according to sex, the tendency to be left or right handed and depending on each side of the body; the second one consist in a three generation family where we will analyze this traits as in the previous one. The results reflect that there are no significant differences between the left members and the right based on the analyzed individuals. In addition, it is also verified that there is no association between the ratios studied and the variables with which they were compared.

PALABRAS CLAVE

carácter morfológico externo, ratio 2D:4D, sexo, zurdo, diestro, ratio 1D:2D, manos, pies.

PALABRAS CLAVE

carácter morfológico externo, ratio 2D:4D, sexo, zurdo, destro, ratio 1D:2D, mans, pés.

KEY WORDS

external morphological character, ratio 2D:4D, gender, left-handed, right-handed, ratio 1D:2D, hands, feet.

1. Introducción

Los rasgos físicos humanos son los que nos asemejan o diferencian. Algunos de ellos están controlados por caracteres cuantitativos como la altura, el color de la piel o el peso. Mientras que otros están controlados por un único o muy pocos genes como puede ser el color del pelo, el color de los ojos o la capacidad de enrollar la lengua. Obviamente, el aspecto externo de un individuo es debido a la interacción entre la expresión de los genes involucrados en el carácter y el ambiente.

Una de las características monogenéticas es la proporción relativa entre los dedos índice y anular. Este, denominado como el ratio 2D:4D (se basa en la diferencia de longitud entre el dedo índice y el dedo anular de una misma mano), es un dimorfismo sexual que se presenta en humanos. Por lo general su valor medio es menor en varones que en mujeres puesto que en los primeros el dedo anular suele ser más grande que el índice mientras que en mujeres los dos dedos suelen tener el mismo tamaño (Fink *et al.*, 2005).

Este carácter se estabiliza en torno a la 14^a semana de vida y la diferencia entre ambos sexos empieza a ser notable a partir de los dos años. Valores bajos de este ratio indicarían unos niveles altos de testosterona en relación con los estradiolos fetales, mientras que unos valores altos producirían un efecto contrario al anterior. Esta relación parece ser más notable en la mano derecha que en la izquierda, lo que hace pensar que esta mano podría ser más sensible a los efectos de las hormonas fetales. Estos hechos pueden permitir utilizar este rasgo como predictivo para controlar los niveles de testosterona, el conteo de espermatozoides, el tamaño fetal, etc. tal y como sugieren Lutchmaya *et al.* (2004).

El ratio 2D:4D también está asociado con el tamaño y la proporción corporal en recién nacidos, pero sólo en hombres. Cuando el ratio es mayor indica que la longitud corporal al nacer es menor y que el tamaño de la cabeza es mayor en proporción al tamaño corporal. Por otro lado, los hombres con un ratio 2D:4D elevado tienen una mayor tendencia a presentar enfermedades cardiovasculares que los que tengan un ratio menor. Que estos resultados no se den en mujeres podría deberse a que la testosterona tiene efectos dependientes del sexo tanto en el tamaño corporal como en las enfermedades cardiovasculares (Ronalds *et al.*, 2002).

La relación negativa entre la concentración de testosterona en hombre y el ratio 2D:4D puede seguir el siguiente modelo: los genes Hox son los encargados del desarrollo de los dedos y de los testículos; gracias a la diferenciación de las células de Leydig, los testículos del feto van a comenzar a producir testosterona en torno a la octava semana de gestación. La cantidad de testosterona producida va a ser la que produzca las diferencias que encontramos en los ratios 2D:4D. Por otro lado, la cantidad de espermatozoides también está regulado por genes Hox por lo que el ratio 2D:4D podría llegar a utilizarse como modelo predictivo de los niveles de testosterona y espermatozoides en hombres (Manning *et al.*, 1998).

En las mujeres un ratio 2D:4D elevado indicaría la presencia de una mayor cantidad de hormona luteinizante y estrógenos. Una posible explicación de por qué las mujeres con bajos ratios tienen unas concentraciones de estrógenos menores podría ser que la testosterona materna atravesara la placenta e influenciase la diferenciación de los ovarios y de los dedos. (Manning *et al.*, 1998).

Dos estudios de asociación del genoma completo del ratio 2D:4D indican la presencia de dos loci que influyen en este rasgo: el alelo A del locus rs314277 en LIN28B se asocia con un incremento del ratio, un retraso del inicio de la menstruación y un aumento de peso; mientras que el alelo T del locus rs4902759 en SMOC1 que se asocia con un descenso del ratio. La proteína que codifica SMOC1 se ha demostrado que está regulada positivamente por andrógenos y negativamente por estrógenos. Esto sugiere que SMOC1 podría ser un intermediario entre las hormonas sexuales y el ratio 2D:4D.

Sin embargo y pese a lo propuesto, Warrington *et al.* (2018) estudiaron 9 loci para el ratio 2D:4D y no encontraron ninguna relación con las rutas que involucran a la testosterona, aunque no excluyen la posibilidad de que la testosterona influya en este ratio mediante la regulación en la expresión de algunos genes relacionados con ella.

Al igual que en los dedos de las manos, tal y como dicen Manning *et al.* (2003), los genes HOX (en concreto HOXA y HOXD) también están implicados en la diferenciación de los dedos de los pies y, por lo tanto, juegan un papel muy importante en el ratio 1D:2D (diferencia de longitud entre el primer dedo del pie y el segundo). A su vez, la

diferenciación de las gónadas también depende de los genes HOX, por lo que puede existir una relación entre la morfología de los dedos y la función de las gónadas.

Voracek y Dressler (2010) explican el menor efecto sexual presente en el ratio de los pies en comparación con el de las manos de la siguiente forma: el desarrollo embrionario de los humanos sigue un gradiente desde la cabeza a la zona caudal, por lo que los pies al desarrollarse más tarde están expuestos en menor medida a la testosterona fetal. Además, los varones presentan un ratio 1D:2D menor que las mujeres y es debido generalmente a que su segundo dedo es más grande. Aquí existe un paralelismo con el ratio 2D:4D ya que en ese caso también se debía a que los varones suelen tener un dedo anular más grande que las mujeres.

Por otro lado, el uso de las manos y de los pies puede estar condicionado por el aprendizaje (en el pasado se reconducía a la gente zurda a escribir con la mano derecha, ya que era un comportamiento mal visto por una parte de la sociedad). Sin embargo, puede haber otros rasgos que están relacionados con la diferencia de dominancia y que no estén influenciados socialmente, como es el caso de la forma en la que se cruzan los dedos, los brazos o la forma de aplaudir.

2. Objetivos

Dentro del gran número de caracteres morfológicos humanos externos existentes, se estudiarán dos en particular: el ratio 2D:4D (obtenido como la diferencia de longitud entre el dedo índice y el dedo anular de una misma mano) y el ratio 1D:2D (diferencia de tamaño entre el primer y el segundo dedo del pie).

El estudio se centrará en dos apartados, en el primero se estudiará la distribución de estos caracteres (ratio 2D:4D y ratio 1D:2D) dentro una población y en el segundo se observará como es su herencia mediante un análisis genealógico:

- Desde el punto de vista poblacional abordaremos tres objetivos principales:
 - Analizar si las variables que relacionan las longitudes de los dedos, tanto en manos como en pies, difieren en función del sexo.

- Estudiar si estas variables (ratio 2D:4D y ratio 1D:2D) difieren en función de la tendencia a ser zurdo/diestro (sacada del estudio de cómo los individuos cruzan los dedos, los brazos y la forma en la que aplauden).
- Para cada uno de los ratios analizar la posible relación entre la parte derecha y la parte izquierda del cuerpo.
- Desde el punto de vista genealógico:
 - Analizar los ratios y la tendencia a ser zurdo/diestro dentro de una familia con tres generaciones.

3. Material y métodos

En este trabajo se tomaron dos grupos de sujetos sobre los que se realizó la toma de datos: uno, cuyos integrantes fueron seleccionados aleatoriamente, que consta de 30 individuos (15 mujeres y 15 machos) y otro formado por una familia que consta de tres generaciones y 14 individuos (7 machos y 7 mujeres).

En el primer caso se optó por un tamaño muestral de 30 individuos, repartido equitativamente entre los dos sexos, para facilitar la aplicación de los métodos estadísticos y estudiar el efecto del sexo de la manera más eficiente posible. Si se detectase mucha variabilidad en los datos podría ser necesario incrementar el tamaño de la muestra total para lograr una mayor potencia en las pruebas estadísticas.

Para calcular la distancia de los dedos utilizamos papel milimetrado, ya que esta forma de medida se amolda mejor a la figura del dedo para que los datos se ajusten lo máximo posible a la realidad.

Para obtener los datos del ratio 2D:4D de cada individuo se midió la distancia entre la punta del dedo y la cresta de unión situada entre el dedo y la palma de la mano. Esta medida se realizó en los dedos anular e índice tanto de la mano derecha (denominado como *Ratio 2D:4D.MD=LDI-LDA*) como de la mano izquierda (denominado como *Ratio 2D:4D.MI=LDI-LDA*) (Fig.1).

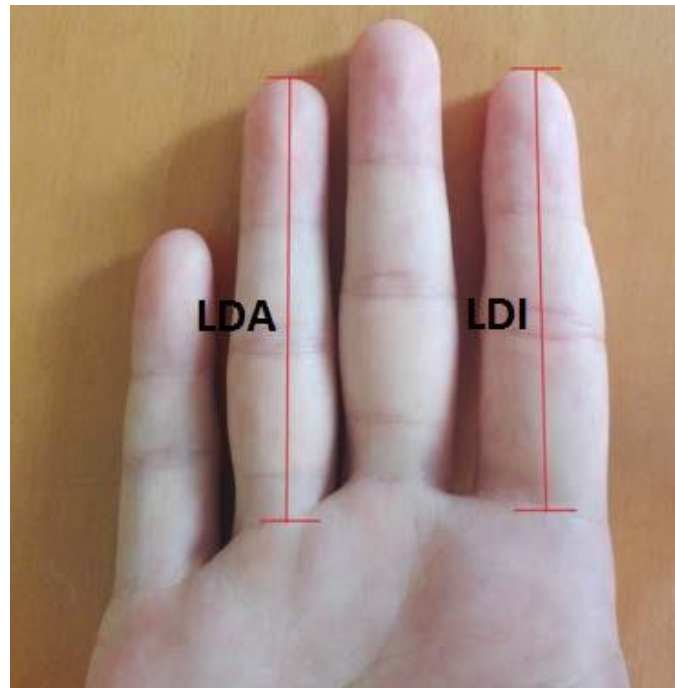


Fig. 1 Imagen de la palma de la mano donde se indica de qué forma se midió la longitud del dedo índice (*LDI*) y del dedo anular (*LDA*).

Para la toma de datos del ratio 1D:2D se utilizó el mismo método que el de las manos, se midió desde la punta del dedo hasta la cresta que une el dedo con la planta del pie. Como en este caso las crestas de los dos dedos no coinciden a la misma altura lo que se hizo fue ampliar una línea horizontal imaginaria desde la cresta del primer dedo que se utilizará como punto de medida para el segundo dedo (Fig. 2). De esta forma podremos visualizar en los datos cuando el segundo dedo sea mayor que el primero, mientras que si utilizásemos la propia cresta del segundo dedo no sería posible. Estas medidas también las realizamos en el pie derecho (nombrado como *Ratio 2D:4D.PD=L1D-L2D*) y en el izquierdo (nombrado como *Ratio 2D:4D.PI=L1D-L2D*). A pesar de que durante el trabajo utilizemos los datos de la diferencia entre los dedos, seguiremos usando la nomenclatura "ratio " ya que es la usada comúnmente en la bibliografía existente.

Con el fin de intentar descubrir si la tendencia a ser zurdo o diestro influía en la diferencia de los valores en ambos lados del cuerpo se realizaron tres mediciones más de cada individuo:

- En primer lugar, se pidió a los sujetos que cruzasen las manos tal como se muestra en la Fig. 3 y se anotó que dedo queda por encima, si el izquierdo o el derecho.

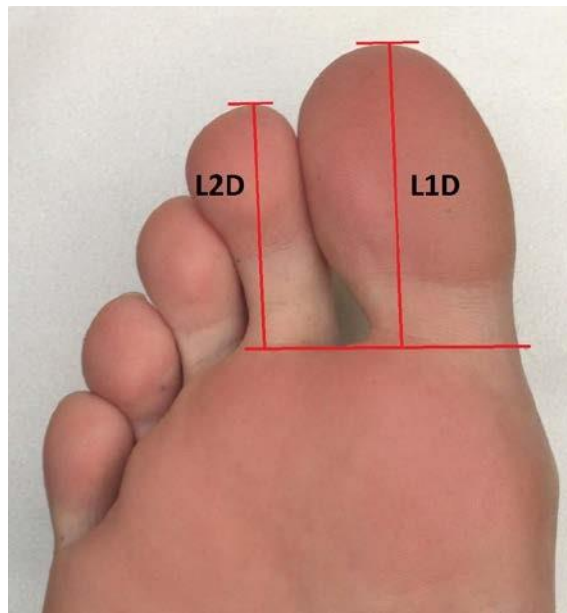


Fig. 2 Imagen de la planta del pie donde se ilustra como midieron las longitudes del primer dedo (*L1D*) y I del segundo dedo (*L2D*).

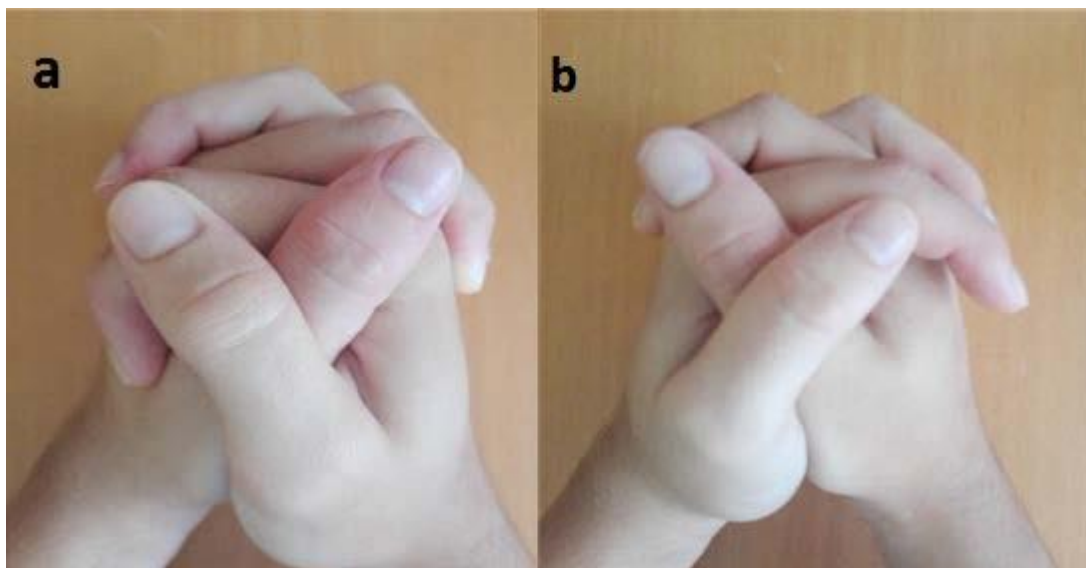


Fig. 3 En esta imagen se pueden apreciar las dos formas de cruzar los dedos: cuando el dedo derecho queda por encima (a) y cuando el dedo izquierdo queda por encima (b).

- En segundo lugar se observó si, a la hora de cruzar los brazos, la mano izquierda queda por encima a la vista o si por el contrario es la derecha la que queda a la vista (Fig. 4).

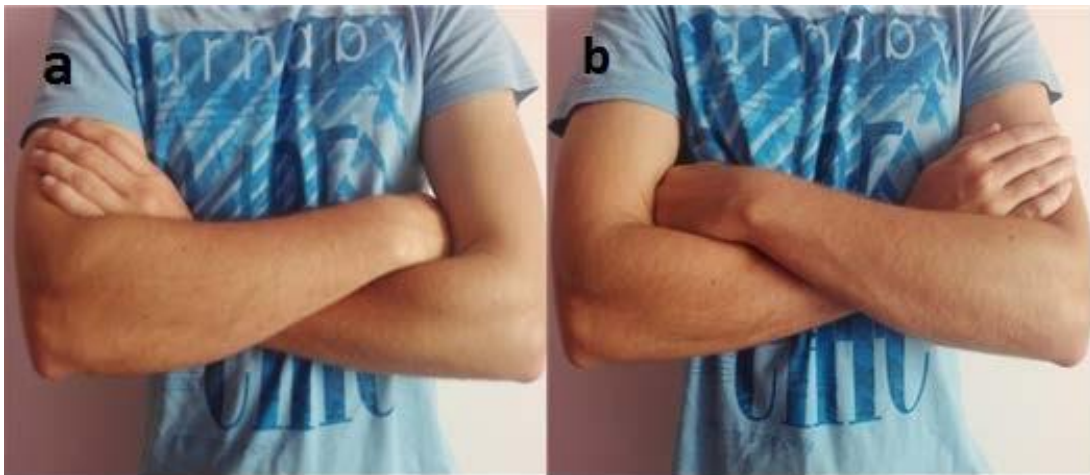


Fig. 4 Aquí podemos apreciar, a la hora de cruzar los brazos, cuando la mano izquierda queda a la vista (a) y cuando queda la derecha por encima (b).

- En tercer lugar nos fijamos en la forma de aplaudir de cada individuo, si golpeaba con la mano derecha (por lo que la mano izquierda se sitúa por encima de la derecha) o si golpeaba con la izquierda (por lo que la mano derecha queda por encima de la mano izquierda) (Fig. 5).

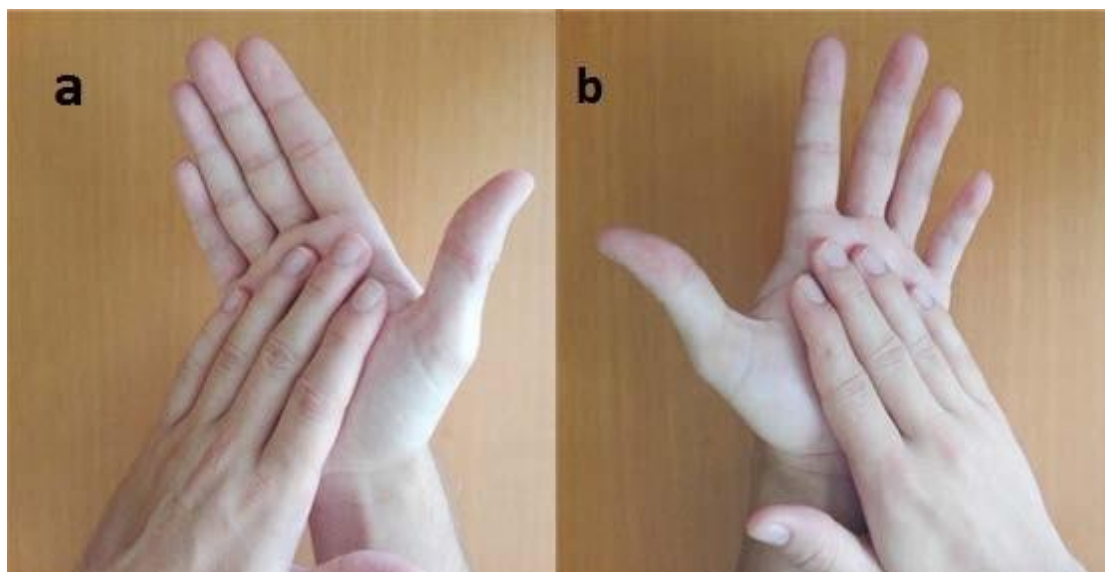


Fig. 5 En esta fotografía observamos cuando la palmada se da con la mano izquierda (a) o con la mano derecha (b).

Con estos tres datos se elaborará una clasificación que denominaremos de aquí en adelante como "tendencia a ser zurdo/diestro". Esta clasificación consta de cuatro grupos:

- Grupo A: cuando un individuo presente los tres datos diestros.
- Grupo B: cuando un individuo tenga dos datos diestros y uno zurdo.
- Grupo C: si un individuo presenta dos datos zurdos y uno diestro.

- Grupo D: conformado por individuos con los tres datos zurdos.

Para el tratamiento de ambos conjuntos de datos que se utilizaron dos programas: la hoja de cálculo Microsoft Excel 2007 para la recogida de datos y el paquete R Commander del software libre R (R Core Team, 2019) para el análisis estadístico de los mismos.

Como primer paso se realizó un análisis exploratorio de las variables *Ratio 2D4D.MD*, *Ratio 2D4D.MI*, *Ratio 1D2D.PD* y *Ratio 1D2D.PI* consistente en la obtención de gráficos de cajas y cálculo de distintas medidas descriptivas (de posición, dispersión y forma) para conocer la distribución de los datos en función de las variables *Sexo* y *Tendencia*.

Para estudiar el efecto de los factores sobre las ratios se aplicaron pruebas paramétricas de comparación de medias, t-student para el *Sexo* por presentar dos niveles y ANOVA I junto con el test de Tukey de comparaciones múltiples para la *Tendencia* por presentar más de dos niveles. Las hipótesis de normalidad y homocedasticidad (varianzas iguales), necesarias para la validez de estos métodos paramétricos, fueron chequeadas mediante el test de Shapiro-Wilks y el test de Bartlett, respectivamente. Como alternativas al incumplimiento de las hipótesis se aplica, en caso de ser necesario, la prueba de Wilcoxon para el *Sexo*, la prueba de Kruskal-Wallis para la *Tendencia* o la corrección de Welch para corregir el efecto de la heterocedasticidad (varianzas distintas).

Con el propósito de comparar las ratios entre la parte derecha y la izquierda se aplicaron procedimientos de comparación de medias para muestras relacionadas, prueba t-student bajo normalidad y Wilcoxon como alternativa no paramétrica en sus versiones adaptadas a datos relacionados.

4. Resultados

En primer lugar se comparan cada uno de los cuatro ratios en función del sexo, por un lado, y de la tendencia por el otro. En el caso de que el resultado indique que estas dos variables no afectan a los ratios, y por tanto se dispongan de muestras homogéneas, se compararían en ambos lados del cuerpo. En caso contrario, si algún ratio se viese

influenciado por alguno de los dos factores, la comparativa entre la parte derecha e izquierda del cuerpo requeriría modelos más complejos y, por tanto, tamaños muestrales mayores, al menos en algunos grupos.

Tal y como se indicó en la sección anterior se comprobó la normalidad y la homocedasticidad de las ratios en función del Sexo mediante los test de Shapiro-Wilks y Bartlett (F de Snedecor en el caso de dos niveles), obteniendo en todos los casos p-valores claramente superiores a 0.05. La validación de estas condiciones permite aplicar la prueba t-student para muestras independientes lográndose los resultados que se muestran a continuación.

Se observó que el **Ratio 2D:4D.MI** en función del sexo se ajusta a una distribución normal (p-valor en varones=0.2677; p-valor en mujeres=0.3474) y se puede asumir que presentan una variabilidad similar en los dos sexos ya que el p-valor del test F es de 0.1466. La prueba t-student para datos independientes no detecta diferencias significativas en los ratios medios según el sexo (p.valor=0.07185). Las medias así como los intervalos de confianza (IC) correspondientes al 95% se han representado en la Fig. 6.

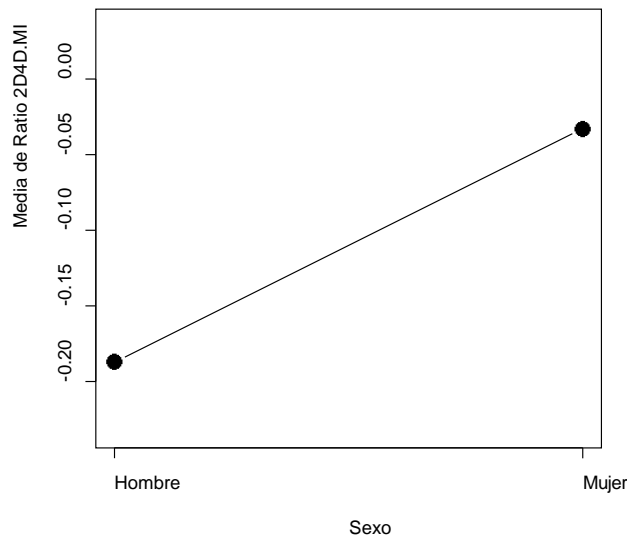


Fig. 6 Gráfico de las medias que representa el ratio 2D:4D de la mano izquierda en función del sexo.

En el caso del **Ratio2D:4D:MD** en función del sexo también se ajusta a una normal (p-valor en varones=0.3893; p-valor en mujeres=0.2300) y al realizar la prueba F el p-valor es de 0.1250 por lo que asumimos la similitud de varianzas. El resultado de la t-student nos indica que, como en el ratio de la mano izquierda, los datos no han

detectado influencia significativa del sexo en este rasgo (p -valor=0.1101). Obsérvense las medias e ICs al 95% en la Fig. 7.

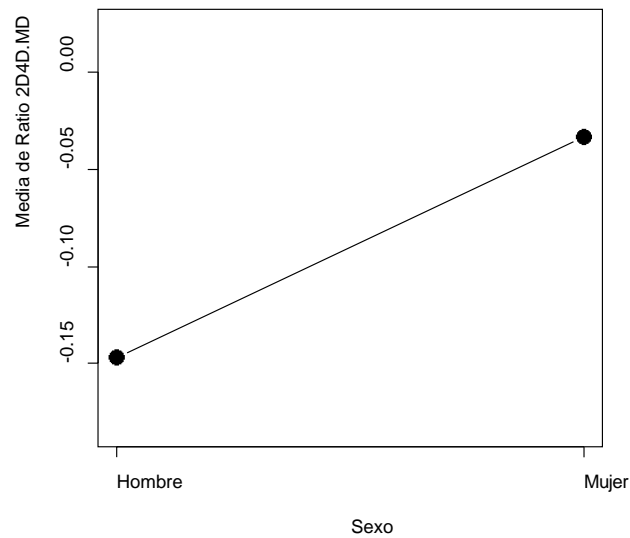


Fig. 7 Gráfico de las medias que muestra el ratio 2D:4D de la mano derecha en función del sexo.

Para el **Ratio1D:2D.PI** se puede mantener la condición de normalidad en ambos sexos (p -valor en varones=0.3956; p -valor en mujeres=0.6468) y de homocedasticidad (p -valor=0.6712). La t-student para este ratio arroja un p -valor muy elevado de 0.8312 por lo que aceptamos con amplia confianza la hipótesis nula, es decir, el sexo no tiene efecto significativo en el ratio 1D:2D del pie izquierdo (obsérvense la Fig. 8).

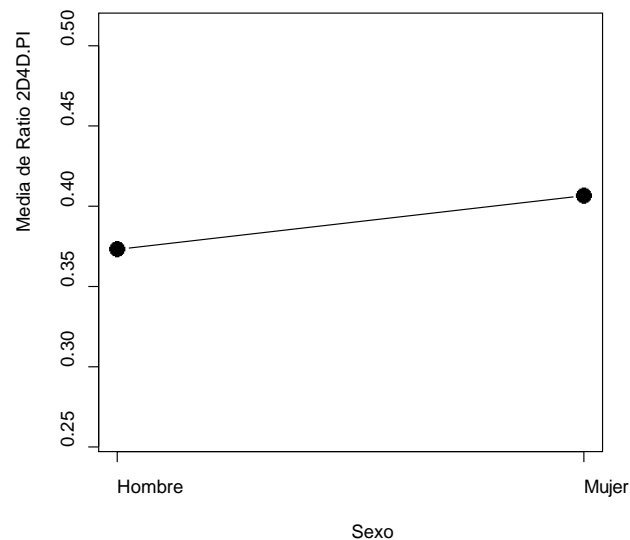


Fig. 8 Gráfico de las medias del ratio 1D:2D del pie izquierdo en función del sexo.

Por otro lado, en el **Ratio1D:2D.PD** podemos mantener la condición de normalidad en cada uno de los dos sexos (p -valor en varones=0.4435; p -valor en mujeres=0.1304) y sus varianzas continúan siendo similares ya que el p -valor de la prueba F es de 0.1758.

Al realizar la prueba t-student no encontramos cambios con el resto de los ratios, sigue sin haber influencia del sexo (p -valor=0.9016) (Fig. 9).

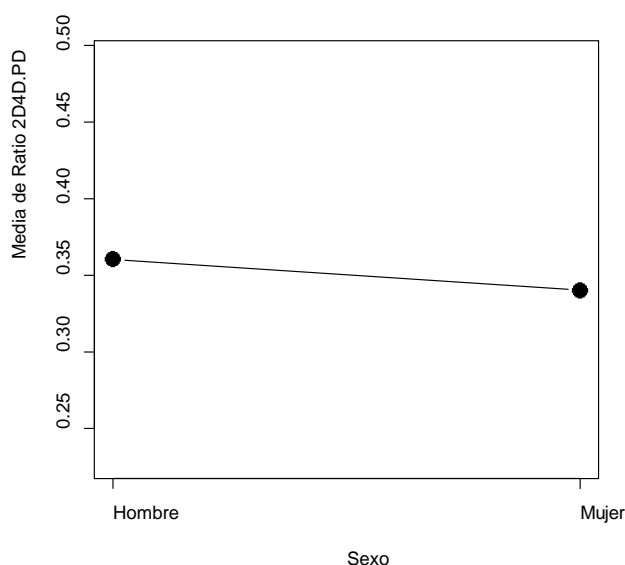


Fig. 9 Gráfico de las medias del ratio 1D:2D del pie derecho en función del sexo.

Para abordar el segundo objetivo del trabajo, estudiar si las ratios difieren en función de la tendencia de un individuo a ser zurdo/diestro, se plantearon los correspondientes modelos ANOVA I para comparar las medias en función de los cuatro niveles considerados (A, B, C y D). Para cada una de las variables (*Ratio 2D4D.MD*, *Ratio 2D4D.MI*, *Ratio 1D2D.PD* y *Ratio 1D2D.PI*) se ajustó el modelo ANOVA y se calcularon los residuos correspondientes (desviaciones de cada dato a la media por nivel), necesarios para chequear las hipótesis de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los resultados analíticos correspondientes, así como los gráficos que muestran las medias estimadas con sus correspondientes ICs al 95% se muestran a continuación.

En primer lugar, se analizó el ***Ratio2D:4D.MI*** en función de la tendencia. Comprobada la normalidad de los residuos (p -valor=0.5409>0.05) y la homogeneidad de varianzas mediante el test de Barlett (p -valor=0.3047), estamos en disposición de aplicar el test ANOVA de comparación de medias. El p -valor que arroja el test es de 0.6030>0.05 lo que nos indica que los datos no detectan diferencia significativa entre las medias de *Ratio 2D4D.MI* en función de la *Tendencia* (Fig.10).

Así mismo, se estudia el ***Ratio2D:4D.MD*** en función de la tendencia. A partir del cálculo de residuos obtenemos que los datos mantienen su condición de normalidad (p -valor=0.5409>0.05) y que sus varianzas son similares (p -valor0.3877>0.05). Gracias al

test ANOVA I para un factor dilucidamos que no hay diferencias entre las tendencias en este ratio ($p\text{-valor}=0.8960>0.05$) (Fig.11)

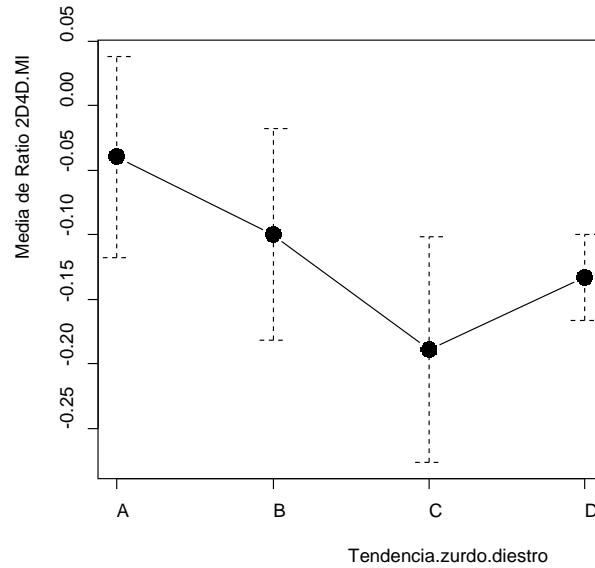


Fig. 10 Gráfico de las medias que ilustra el ratio 2D:4D de la mano izquierda en función de los cuatro grupos (A, B, C y D) de los que consta la tendencia a ser zurdo/diestro

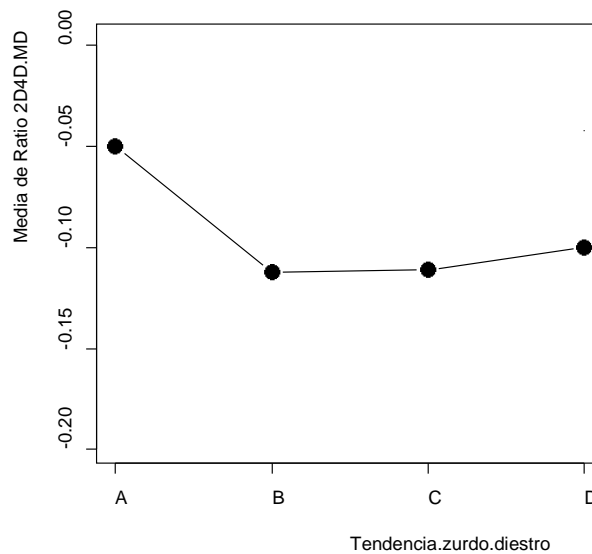


Fig. 11 Gráfico de las medias que ilustra el ratio 2D:4D de la mano derecha en función de los cuatro grupos (A, B, C, y D) de los que consta la tendencia a ser zurdo/diestro.

Al igual que en las manos, también analizamos el **Ratio1D:2D.PI** en función de la tendencia. El estudio de la normalidad a partir de los residuos de este ratio señalan que se ajustan a una distribución normal ($p\text{-valor}=0.9071>0.05$) y que presentan homocedasticidad ($p\text{-valor}=0.4938>0.05$). Después de aplicar el ANOVA I a nuestros

datos obtenemos el mismo resultado que en los casos anteriores, las tendencias no presenta efecto significativo para nuestro ratio (p -valor=0.7310) (Fig.12).

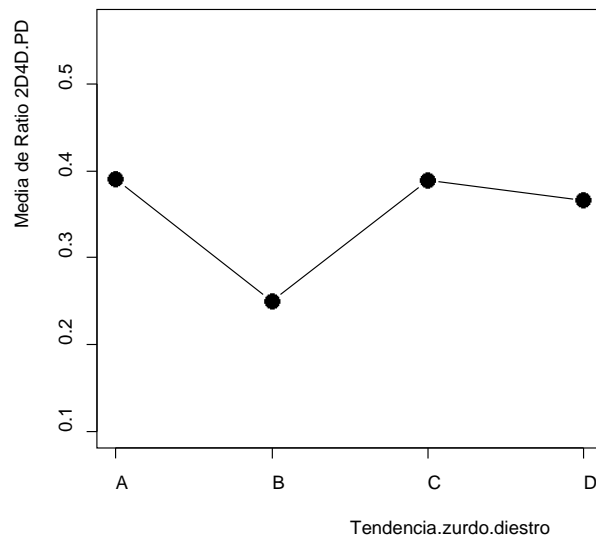


Fig. 12 Gráfico de las medias del ratio 1D:2D del pie izquierdo en función de los cuatro grupos (A, B, C, y D) que conforman la tendencia a ser zurdo/diestro

A su vez, analizamos también el **Ratio1D:2D.PD** en función con la tendencia. Los residuos mantienen la condición de normalidad (p -valor=0.1305>0.05) y también la de homocedasticidad (p -valor=0.4086>0.05). El test ANOVA I arroja un p -valor de 0.9080 por lo que nuestras tendencias no influyen significativamente en este ratio (Fig.13).

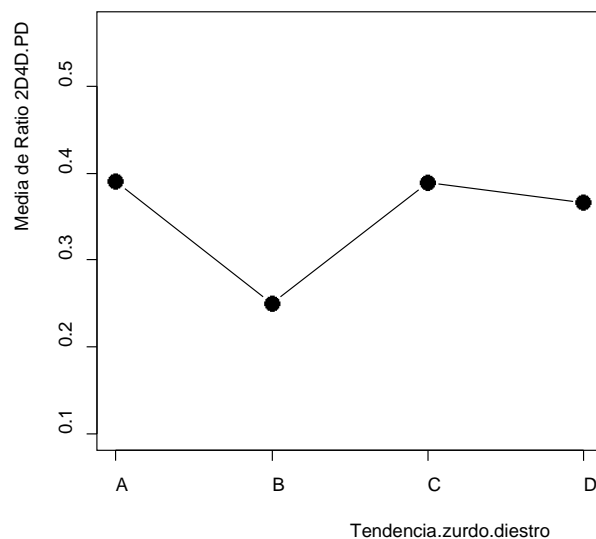


Fig. 13 Gráfico de las medias del ratio 1D:2D del pie derecho en función de los cuatro grupos (A, B, C, y D) que forman parte de la tendencia a ser zurdo/diestro.

Como hemos observado, los datos disponibles no han detectado influencia significativa de las variables *Sexo* y *Tendencia* sobre los cuatro ratios por lo que podemos compararlos en ambos lados del cuerpo sin tomar en consideraciones estos factores. Para ello se ha aplicado la prueba t-student para datos relacionados, previamente chequeada la normalidad de las cuatro variables.

En este caso los cuatro ratios mantienen la condición de normalidad con un nivel de significación del 5%: p-valor del *Ratio 2D:4D.MI*=0.1099; p-valor del *Ratio 2D:4D.MD*=0.3739; p-valor del *Ratio 1D:2D.PI*=0.5078; p-valor del *Ratio 1D:2D.PD*=0.05878 (Fig.14).

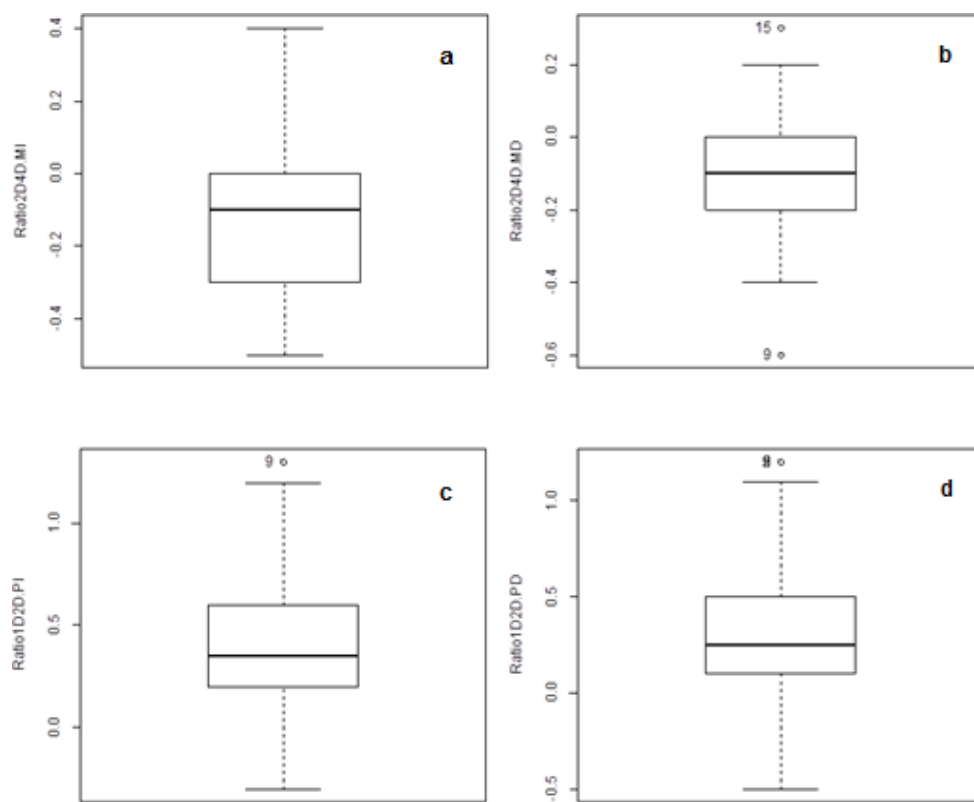


Fig. 14 Gráficos de cajas que ilustran la distribución de cada uno de los cuatro ratios (**A**: Ratio 2D:4D de la mano izquierda; **B**: ratio 2D:4D de la mano derecha; **C**: ratio 1D:2D del pie izquierdo; **D**: ratio 1D:2D del pie derecho.)

A continuación, se ha aplicado la prueba t-student para datos relacionados. En los dos casos, comparativa de ratio mano derecha/izquierda y comparativa de pie derecho/izquierdo, los p-valores son superiores a 0.05 por lo que los datos no aportan evidencia significativa que indiquen que los ratios medios sean distintos en cada lado del cuerpo.

Para los ratios de las manos izquierda y derecha se obtuvo un p-valor de 0.6152 y para los ratios de los pies el p-valor fue de 0.3079.

Finalmente, se analizaron los mismos datos en el conjunto familiar para llevar a cabo el análisis genealógico (Fig.15). En relación con el ratio de las manos se puede ver una clara proporción de una mayor longitud del anular con respecto al índice, mientras que la mayor longitud del índice sobre el anular tiende a ser un carácter más abundante, ya que pocos individuos lo presentan. Los individuos con a las longitudes iguales podrían ser heterocigotos para ambos caracteres.

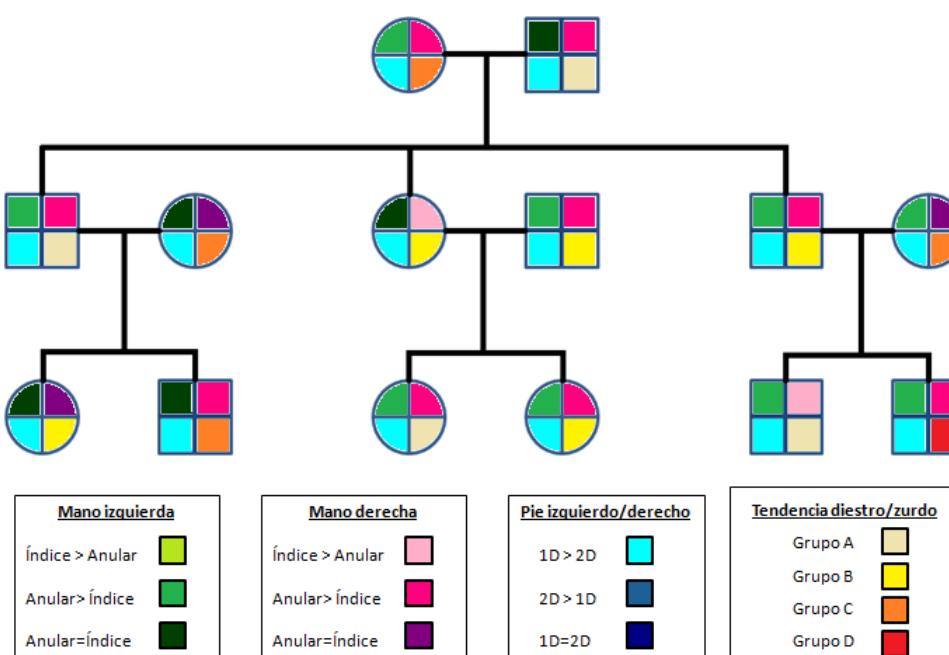


Fig. 15 Árbol genealógico de la familia estudiada donde se muestra, mediante una gama de colores, los distintos datos para el ratio de las manos, el de los pies y la tendencia a ser zurdo/diestro. Cada individuo se divide en cuatro cuadrantes: en el superior izquierdo aparece la mano izquierda; en el superior derecho aparece la mano derecha; en el inferior izquierdo aparece el pie izquierdo/derecho (ya que los resultados en ambos lados son iguales); en el inferior derecho aparece la tendencia a ser zurdo/diestro.

Con respecto al ratio de los pies se ve claramente una mayor proporción de una mayor longitud del primer dedo sobre el segundo, dónde tiene una gran importancia la gran relación de consanguinidad entre los individuos.

En relación con las tendencias se observa bastante variabilidad, aunque hay una mayor cantidad de individuos que pertenecen a los grupos donde predomina el carácter diestro (A:4, B:5, C:4, D:1).

5. Discusión

Para la toma de datos de cada individuo se utilizó un método directo ya que el uso de métodos indirectos (ya sean fotografías, escáneres o fotocopias) pueden producir una distorsión de los datos, provocando la existencia de diferencias en las medidas que no se ajustan a las reales. Esto conduciría a recoger una gran cantidad de datos incorrectos por lo que nuestro estudio carecería de veracidad, tal y como observan Honekopp y Watson (2010).

Existen ciertas referencias en páginas web sobre la herencia de la longitud relativa entre los dedos índice y anular en hombres y mujeres. En el sentido que es un carácter influenciado por el sexo. Así tener una longitud mayor del dedo anular que el índice sería un carácter dominante en varones y recesivo en mujeres, mientras que el dedo índice mayor que el anular sería dominante en mujeres y recesivo en hombres (ejemplos: 1, 2, 3). Sin embargo no hemos encontrado ninguna referencia real a estas características. En el pedigrí analizado al ser escaso el número de individuos que se pudieron analizar, no se pudo comprobar si realmente la herencia es como se sugiere o bien está directamente influenciada por los niveles hormonales. Tampoco en nuestro estudio no parece detectarse ningún tipo de relación entre las dos variables estudiadas (sexo y tendencia a ser zurdo o diestro) y los cuatro ratios obtenidos de los datos de nuestra población al azar (Ratio 2D:4D de la mano izquierda y derecha y Ratio 1D:2D del pie izquierdo y derecho). Tampoco se observan ninguna diferencia significativa entre los ratios de un lado del cuerpo con el otro. Esto se encuentra en contraposición con los detectado por Lutchmaya *et al.* (2004) que si encontraron ciertas diferencias, pero si apoyando los resultados de Warrington *et al.* (2018) los cuales encontraron diferencias entre la mano derecha e izquierda. Como sugirieron estos autores podría ser un indicativo de la relación entre este rasgo y la concentración de hormonas fetales.

Tampoco encontramos diferencias entre los ratios de los pies en función del sexo, a diferencia de Voracek y Dressler., (2010). Ellos concluyen que sí existen diferencias en los ratios debido al tamaño del segundo dedo en los hombres, rasgo que podría explicarse por la diferencia natural de crecimiento entre ambos sexos. Sin embargo, Mcfadden y Shubel (2002) no encontraron evidencias, al igual que nosotros, de que las diferencias sexuales en los dedos de los pies se incrementasen en el lado derecho (hay que tener en cuenta, tal y como comentan ellos, que presentaban un número no

demasiado grande de individuos para su estudio). En este estudio también se dispone de un tamaño muestral bastante pequeño y eso, unido a la gran variabilidad que presentan los ratios de las manos (mayor que la de los ratios de los pies), podría ser una explicación de por qué no encontramos diferencias significativas entre los ratios y las variables. Esto se podría solucionar en estudios posteriores aumentando el número de individuos del que se toman los datos para que esa gran variabilidad se pueda contrarrestar.

Con respecto a la tendencia a ser zurdo o diestro se ha sugerido que este carácter tiene una clara influencia genética ya que gemelos idénticos presentan concordancia del 79% (Strickberger, 1978). Sin embargo aunque nosotros no encontramos diferencias a la hora de comparar esta tendencia con nuestros ratios, lo que indicaría que esta variable no tiene ningún tipo de relación con la diferencia de longitudes de los dedos, si encontramos un cierto grado de homogeneidad en la herencia familiar. Como en el caso anterior la poca cantidad de datos puede ser un factor determinante, ya que al dividirse la tendencia en cuatro grupos había alguno de ellos donde la cantidad de datos bastante escasa. En este aspecto no hay ningún artículo, hasta el momento, que realizase esta investigación con un gran número de datos de que poder sacar una conclusión.

Tanto en la población muestreada y la familia estudiada, que el primer dedo del pie sea más grande que el segundo parece ser un rasgo dominante, lo que concuerda con lo expresado por Pita-Fernandez *et al.*, (2014). Comentan que este carácter (al que ellos denominan como egipcio) aparece en torno al 57% de la población mientras que cuando el segundo dedo es más grande que el primero (denominado por los autores como griego) aparece en el 31%. El porcentaje restante sería de los individuos donde el primer dedo y el segundo son iguales (nombrado por los autores como cuadrado).

6. a. Conclusiones

1. No se encontraron diferencias significativas entre los ratios 2D:4D (en la mano izquierda y derecha) ni en los ratios 1D:2D (en los pies izquierdo y derecho) en función del sexo.
2. No se encontraron diferencias significativas entre los ratios de las manos y los ratios de los pies en función de los cuatro grupos de los que se compone la tendencia a ser zurdo/diestro.

3. No se encontraron diferencias significativas entre ambos lados del cuerpo en relación con los ratios de la mano, por un lado, y los ratios de los pies, por el otro.
4. Que el dedo anular presente una longitud mayor que la del dedo índice parece presentar un carácter dominante en la familia estudiada, como que el primer dedo del pie sea más grande que el segundo.
5. La poca cantidad de datos recogidos puede ser una razón por la que no se encontrasen diferencias en nuestros caracteres a estudiar, factor importante debido a la gran variabilidad de algunos de los rasgos estudiados.

6. b. Conclusions

1. No significant differences were found between the 2D: 4D ratios (in the left and right hand) or in the 1D: 2D ratios (in the left and right feet) depending on gender.
2. No significant differences were found between the ratios of the hands and the ratios of the feet according to the four groups of which the tendency to be left-handed / right-handed is composed.
3. No significant differences were found between both sides of the body in relation to the hand ratios, on one side, and the foot ratios, on the other side.
4. The ring finger has a length greater than the index finger seems to have a dominant character in the family studied, such that the first toe is larger than the second.
5. The small amount of data collected may be a reason why no differences were found in our characters to study, an important factor due to the great variability of some of the traits studied.

7. Bibliografía

- Fink, B., Grammer, K., Mitteroecker, P., Gunz, P., Schaefer, K., Bookstein, F. L., & Manning, J. T. (2005). Second to fourth digit ratio and face shape. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1576), 1995–2001. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3179>
- Hönekopp, J., & Watson, S. (2010). Meta-analysis of digit ratio 2D:4D shows greater sex difference in the right hand. *American Journal of Human Biology*, 22(5), 619–630. <https://doi.org/10.1002/ajhb.21054>
- 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., Callow, M., & Bundred, P. E. (2003). Finger and toe ratios in humans and mice: Implications for the aetiology of diseases influenced by HOX genes. *Medical Hypotheses*, 60(3), 340–343. [https://doi.org/10.1016/S0306-9877\(02\)00400-0](https://doi.org/10.1016/S0306-9877(02)00400-0)
- 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>
- McFadden, D., & Shubel, E. (2002). Relative lengths of fingers and toes in human males and females. *Hormones and Behavior*, 42(4), 492–500. <https://doi.org/10.1006/hbeh.2002.1833>
- Pita-Fernandez, S., González-Martín, C., Seoane-Pillado, T., Pertega-Díaz, S., Perez-García, S., & López-Calviño, B. (2014). Podiatric medical abnormalities in a random population sample 40 years or older in Spain. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 104(6), 574–582. <https://doi.org/10.7547/8750-7315-104.6.574>
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ronalds, G., Phillips, D. I. W., Godfrey, K. M., & Manning, J. T. (2002). The ratio of second to fourth digit lengths: A marker of impaired fetal growth? *Early Human Development*, 68(1), 21–26. [https://doi.org/10.1016/S0378-3782\(02\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3782(02)00009-9)
- Strickberger, B. (1976). *Genética*. Ed. Omega, Barcelona.
- Voracek, M., & Dressler, S. G. (2010). Relationships of toe-length ratios to finger-length ratios, foot preference, and wearing of toe rings. *Perceptual and Motor Skills*, 110(1), 33–47. <https://doi.org/10.2466/PMS.110.1.33-47>
- Warrington, N. M., Shevroja, E., Hemani, G., Hysi, P. G., Jiang, Y., Auton, A., ... & The 23andMe Research Team. (2018). Genome-wide association study identifies nine novel loci for 2D:4D finger ratio, a putative retrospective biomarker of testosterone exposure in utero. *Human Molecular Genetics*, 27(11), 2025–2038. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddy12>

Páginas web consultadas:

1. https://biologia-geologia.com/BG4/344_herencia_influida_por_el_sexo.html
2. <http://www.biotechnologynotes.com/genetics/inheritance/sex-limited-genes-and-sex-influenced-traits-genetics-biotechnology/133>
3. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiBhO24msHkAhXF8-AKHbq4CPUQFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fcalidad.ugr.es%2Fpages%2Fsecretariados%2Fform_apoyo_calidad%2Fprograma-de-formacion-permante%2Fplanificacion4%2Fmateriales_resultantes%2Fmartinezfrancisca%2F!&usq=AOvVaw2e2oE0GYU22gcUmqfsyTmO

