



BENEMÉRITA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

CAMBIOS INDUCIDOS POR ESTRÉS SOBRE EL TRAZO DE  
LÍNEAS RECTAS

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

JIMÉNEZ AGUILERA YULISSA

TUTOR:

TAPIA LOPÉZ JESÚS ÁNGEL



## RESUMEN

La unidad motora es fundamental para el Sistema Nervioso Central (SNC) como también para los músculos, ya que a través de ella se generan los movimientos. El SNC controla la fuerza muscular dependiendo de la actividad y de las unidades motoras reclutadas en el músculo activado, por lo que el control motor está involucrado en la vía descendentes. El control motor es fundamental en la motricidad fina asociada a la realización de trazos durante la escritura.

En la realización de la escritura están implicadas diferentes áreas motrices, las cuales no se desarrollan antes del proceso de maduración neuronal y motriz el cual comienza desde el nacimiento y se perfecciona por estimulación y entrenamiento, como es el caso de la habituación.

la habituación se encarga de perfeccionar todos estos trazos para mejorar la escritura, por lo que la habituación se define como un proceso en decremento en la respuesta a un estímulo que se presenta repetidamente. Ahora bien, la escritura será modificada por el estrés a través de pequeñas oscilaciones (Yoon y cols, 2009) el estrés es una respuesta fisiológica a un estresor, tiene reacciones positivas como negativas en el rendimiento, dependiendo de que tan expuesto este el sujeto, estos estresores pueden ser el estrés motor y cognitivo ambos van a aumentar la rigidez de las extremidades, sin embargo, el primero va a mejorar el tiempo de respuesta de una acción mientras que el cognitivo va a disminuir el tiempo de respuesta en la acción. Por lo que el objetivo de este trabajo es identificar la incidencia de oscilaciones motoras involuntarias generadas por estrés muscular y cognitivo en tres grupos de edad, mediante el análisis de la distribución de los pixeles generados durante el trazo de figuras geométricas.

# DEDICATORIA

Para mi familia y amigos.

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....  | 3  |
| DEDICATORIA.....   | 4  |
| ÍNDICE .....   | 5  |
| INTRODUCCIÓN .....   | 7  |
| CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL .....                                      | 16 |
| I.1- Control motor. ....   | 16 |
| I.1.1- Unidad motora. ....   | 16 |
| I.1.2- Músculos de las extremidades superiores asociados a la escritura. ....    | 18 |
| I.1.3- Movimientos reflejos. ....  | 20 |
| I.1.4- Vías descendentes. ....   | 22 |
| I.1.5- Núcleos subcorticales del control motor. ....                             | 23 |
| I.1.6- Corteza motora. ....  | 24 |
| I.2- Escritura.....  | 25 |
| I.2.1- La escritura. ....  | 25 |
| I.2.2- Funcionamiento de la escritura.....                                       | 27 |
| I.2.3- Motricidad fina. ....   | 32 |
| I.2.4- Teoría del control motor en la escritura. ....                            | 35 |
| I.2.5- Afectaciones fisiológicas de la escritura (neuropatologías y lesiones)... | 37 |
| I.2.6- Estresores mecánicos y cognitivos.....                                    | 39 |
| I.3- Estrés y oscilaciones involuntarias. ....                                   | 40 |
| I.3.1- El estrés sobre los músculos. ....  | 40 |
| I.3.2- Oscilaciones involuntarias. ....  | 43 |
| I.4- Fatiga.....   | 44 |
| I.4.1- Fatiga muscular. ....   | 44 |
| I.4.2- ¿Cómo afecta al control motor?.....                                       | 45 |
| I.4.3- Fatiga cognoscitiva. ....   | 46 |
| I.4.4- ¿Cómo afecta al control motor?.....                                       | 47 |
| I.5- Habituaación.....   | 47 |
| CAPÍTULO II.- ESTUDIO DE CAMPO .....   | 48 |
| II.1.- Antecedentes. ....  | 48 |

|  |    |
|--|----|
| II.2- Planteamiento del problema. ....                       | 50 |
| II.3.- Justificación. ....                                   | 51 |
| II.4.- Objetivos.....  | 51 |
| II.4.1- objetivo general .....                               | 51 |
| II.4.2.- objetivos específicos.....                          | 51 |
| II.5.- Metodología. ....                                     | 52 |
| CAPÍTULO III.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ..... | 54 |
| III.1.- Resultados.....                                      | 54 |
| CAPÍTULO IV.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....                 | 57 |
| IV.1.- Conclusión.....                                       | 57 |
| IV.2.- Discusión.....  | 58 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                             | 62 |

# INTRODUCCIÓN

El movimiento se va a lograr a partir de la activación controlada de poblaciones de unidades motoras. Algunas de las fibras musculares maduras se encuentran inervadas por una sola neurona motora, debido a la existencia de más fibras musculares que neuronas, los axones motores existentes individuales se van a ramificar dentro de los músculos los cuales harán sinapsis con fibras diferentes las cuales se distribuyen en un área amplia dentro del músculo, con ello aseguran que la fuerza contráctil de la unidad motora se distribuye de manera uniforme. El potencial de acción generado por una neurona motora va a llevar al umbral todas las fibras musculares con las que entra en contacto, una sola neurona motora  $\alpha$  y las fibras musculares asociadas van a contribuir a la unidad de fuerza más pequeña la cual puede activarse para generar movimientos (Purves, y cols., 2004).

La unidad motora es el elemento funcional básico del sistema nervioso central (SNC) consiste en una neurona motora de la asta ventral de la medula espinal, axón y las fibras musculares que el axón inerva (figura 1). El SNC controla la fuerza muscular dependiendo de la actividad de las unidades motoras que compone el músculo, la fuerza ejercida para realizar una actividad motora depende del número de fibras musculares que se encuentran inervando a la neurona motora, es decir entre mayor número de fibras musculares se generara más fuerza al realizar la actividad motora y la velocidad a la cual se esté ejecutando el potencial de acción (Heckman y Enoka, 2012).

La gran variedad de movimientos de los que somos capaces, desde los actos monotes mínimos controlados con precisión hasta los poderosos movimientos balísticos de las extremidades, se realizan por un número variable de unidades motoras, estos movimientos se logran mediante dos mecanismos, variar el número de unidades motoras que van a estar activas o varían la tasa de descarga, y por lo tanto la fuerza de salida de las unidades motoras individuales (Clamann, 1981).

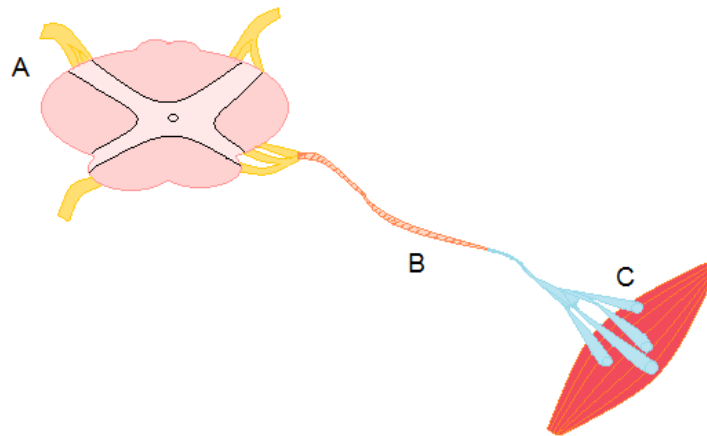


Figura 1. Representación de la anatomía de la unidad motora. La unidad motora está constituida de la médula espinal (A), el axón (B) y las fibras musculares (C) que está inervando, para así llevar a cabo los movimientos.

De acuerdo con Jacobson y colaboradores (1992) la estructura del músculo esquelético se define como “la disposición de las fibras musculares en relación con el eje de generación de fuerza”, los músculos de los antebrazos poseen diseños estructurales únicos, tienen diferencias anatómicas, por lo tanto, una especialización funcional tanto dentro como entre los grupos musculares funcionales.

Las propiedades morfológicas más importantes es la longitud de la fibra muscular y el área transversal fisiológica (PCSA). Se sabe que la excursión y la velocidad del músculo es directamente proporcional a la longitud de la fibra muscular, mientras que la fuerza muscular isométrica será directamente proporcional a la PCSA del músculo (Fridén y Lieber, 1996).

Esta arquitectura del músculo esquelético determinar la fuerza y la capacidad de excursión de un músculo. Las fibras musculares poseen un diámetro de fibras relativamente constante entre músculos de diferentes tamaños y estas diferencias son las que pueden alterar la generación de la fuerza, las diferencias arquitectónicas entre músculos tienen una gran variabilidad y afectan la función (Lieber y Fridén, 2001).



La fuerza muscular varia en cada individuo, sin embargo, la fuerza de músculo a músculo dentro del mismo varía menos ya que la masa o volumen de un músculo es proporcional a su capacidad de trabajo y la longitud de la fibra de un músculo es proporcional a su excursión potencial (Brand, y cols., 1981).

Al ocurrir un estímulo cutáneo en la mano se genera una respuesta excitadora y las respuestas inhibitoras serán detectadas en los pequeños músculos de la mano (Caccia, y cols., 1973). Se ha demostrado la existencia de reflejos en los músculos del brazo por medio de una estimulación cutánea en la pierna. La estimulación de los nervios cutáneos en la parte inferior provoca reflejos en las extremidades en los músculos del brazo, por medio de la médula espinal. Esto es provocado por el reflejo monosináptico o reflejo de estiramiento muscular, el cual se usa para describir los reflejos en los músculos ubicados en extremidades distintas a la zona en las que fueron estimulados (Zehr, y cols., 2001).

Al momento de realizar una tarea estática, los reflejos cutáneos de las extremidades poseen componentes fásicos que ocurren en varias latencias, se componen generalmente de patrones alternantes tanto de supresión como facilitación, un principio del miembro inferior es que en la utilidad funcional de los reflejos es ocasionada en una gran parte por la flexibilidad de las respuestas que ocurren a lo largo de un ciclo de movimiento, causando que los reflejos cambien de acuerdo con el contexto conductual, por lo que conlleva a funcionar de manera adecuada, ya sea para corregir o ayudar al movimiento en curso (Zehr y Chua, 2000).

Las vías descendentes están involucradas de manera diferencial en el control motor, esto involucra a toda la red motora en lugar de que el cerebro controle toda la médula espinal, estas vías tienen características anatómicas, moleculares, farmacológicas y neuro-informáticas, cada vía puede tener muchos roles funcionales (Lemon, 2008).

Brinkman y Kuypers (1972) mencionan que en el caso del mono las conexiones de las vías descendentes, cada hemisferio va a controlar los movimientos

ipsilaterales del brazo, como también los movimientos independientes de la mano y por ultimo los movimientos contralaterales de los dedos.

Esta vía se puede agrupar según su origen en dos clasificaciones, las que proceden de la corteza cerebral y las del tronco encefálico (Kuypers, 1964). Las neuronas motoras de los músculos extensores y flexores reciben la influencia monosináptica de las vías descendentes de la médula espinal de origen supraespinal. Se pudo demostrar que el efecto sobre las neuronas motoras de los músculos extensores se origina en el núcleo vestibular lateral (Lund y Pompeiano, 1965) (figura 2).

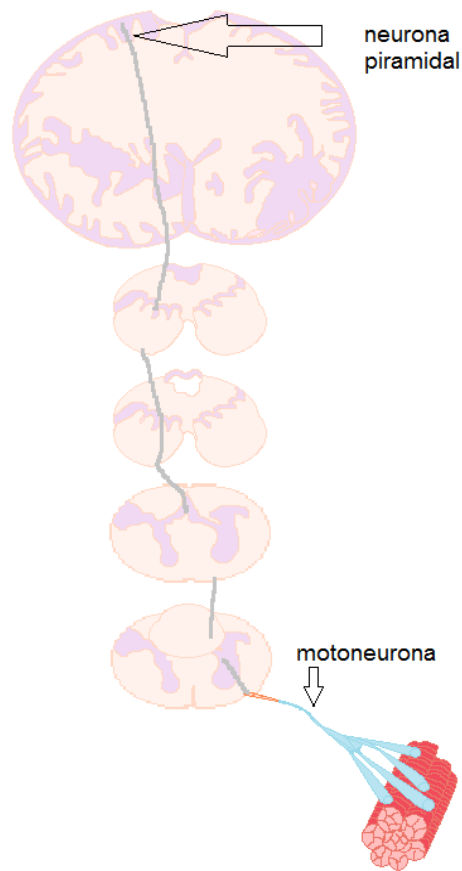


Figura 2. Vía descendente motora. La vía descendente se encarga de comunicar a los tejidos ordenes motoras provenientes del cerebro, cerebelo y tallo, estos bajan por la médula espinal hasta os tejidos efectores (músculos), con ello se producen movimientos conscientes e inconscientes.

Por otro lado, la formación reticular pontomedular medial es una región compleja del tronco encefálico con una sorprendente variedad de interconexiones intrínsecas, largas proyecciones ascendentes hasta los niveles diencefálicos y más allá, y largas proyecciones reticuloespinales que alcanzan todos los niveles de la médula espinal. Esta región está implicada en funciones tales como el control descendente de la actividad motora o de las redes sensoriales, el control ascendente de la excitación cortical o el control de la actividad autónoma (Peterson, 1979).

El núcleo reticular lateral (LRN) es un importante centro pre-cerebeloso de información de fibras musgosas al cerebelo desde la médula espinal que es distinto de las vías espinocerebelosas directas. Tradicionalmente, se ha considerado que el LRN proporciona al cerebelo información segregada de varios sistemas espinales que controlan la postura, el alcance, el agarre, la locomoción, el rascado y la respiración (Alstermark y Ekerot, 2013).

Watanabe y Kohn (2015) mencionan que se han observado oscilaciones en las bandas beta y gamma (13 a 30 Hz; 35 a 70 Hz) en las salidas de la corteza motora que llegan a la médula espinal y actúan sobre las neuronas motoras y las interneuronas. Sin embargo, las frecuencias de estas oscilaciones están por encima del rango de frecuencia de la fuerza muscular. Una opinión actual es que la transformación de las entradas del grupo de neuronas motoras en vigor es lineal, sin embargo, aún no está claro los posibles roles de estas oscilaciones ya que, si esta transformación es lineal, se encuentran altas frecuencias en las entradas de las neuronas motoras.

La amplitud beta y la fase delta en la corteza primaria motora, se modula con respecto a la atención, la amplitud beta aumenta durante la anticipación de una señal informativa, esta amplitud alcanza su punto máximo en 50 ms antes del inicio de las señales de instrucción relevantes para una tarea, la fase delta va a seguir el ritmo de las señales relevantes para la tarea (Saleh, y cols., 2010).

Por otro lado, Watanabe y Kohn (2015) mencionan que la coherencia corticomuscular que se obtienen en las bandas beta (o gamma) y el conjunto de

neuronas motoras que se comportan linealmente son aparentemente inconsistentes. Esto es así porque, de acuerdo con las últimas investigaciones, las oscilaciones corticales de salida de la banda beta que son parte de las sinapsis comunes a un grupo de neuronas motoras serían filtradas por el músculo y, por lo tanto, no contribuirían en nada al control de la fuerza muscular.

Ahora bien, la escritura es un proceso integrado el cual se involucra al control motor, ya que para ejercer la escritura se tienen que hacer diversos movimientos empezando desde el hombro hasta los dedos de la mano, para poder lograr el agarre de una pluma y posteriormente generar trazos.

Tanto Ferrucho (2014) como Daneri (2012) mencionan que el aprendizaje de la escritura se ha de tener en consideración, la legibilidad y la velocidad en el trazo, además del tono muscular esquelético y la coordinación influye la forma de coger el lápiz y la posición del papel. La escritura es un hecho complejo que requiere que la persona tenga suficientemente desarrollada una motricidad precisa, tanto global como específica (viso-manual) que controle adecuadamente, la postura corporal, los músculos y las articulaciones de la mano. Esto es así, porque los movimientos que dan lugar a la escritura deben estar organizados entre patrones motores que cada persona debe reorganizar para que la representación mental de los caracteres pueda plasmarse en papel de un modo correcto mediante el trazo (De-Juanas, 2014).

La escritura a mano es un claro ejemplo de cómo los detalles del movimiento pueden ser invariantes en escala y plano: las formas de las letras que reflejan el estilo personal no cambian, ya sea que se escriba en una hoja de papel, en una pizarra o en la arena con el pie. Investigaciones recientes apuntan a un papel de la corteza parietal en dicha equivalencia motora (Wing, 2000).

La motricidad es importante durante el proceso de desarrollo y aprendizaje en los individuos, en las diferentes áreas motrices está implicada la escritura, la cual no se desarrolla antes del proceso de maduración neuronal y motriz, el desarrollo de la escritura empieza desde el nacimiento y se irá perfeccionando por medio de la estimulación y entrenamiento. La escritura es reconocida como la producción de

signos gráficos en donde los seres humanos plasman conocimientos, ideas y pensamientos (Ferrucho, 2014).

Diversas investigaciones han demostrado una disminución del rendimiento motor como efecto del aumento de la edad, las personas mayores requieren una activación más compleja del sistema motor con ello tener un rendimiento similar al de las personas más jóvenes. El envejecimiento es asociado con una disminución relativa de la excitabilidad de los circuitos inhibidores intracorticales, se sabe que durante el envejecimiento hay más dificultades durante la desaceleración y porciones de procesamiento de circuitos cerrados como por ejemplo el desgaste en los reflejos (Oliviero, y cols., 2006; Smith, y cols., 1999).

Los adultos procesan la información sensorial disponible para una tarea de manera similar a los jóvenes, pero a menor velocidad, a diferencia que cuando la tarea es más exacta los adultos tienen un mejor control, al existir la presencia de objetivos múltiples los adultos mayores se adaptan de una manera óptima a un objetivo central de igual manera que los jóvenes, sin embargo, los adultos procesan la información sensorial disponible a menor velocidad, como ya se había mencionado anteriormente. Así que cuando las restricciones temporales de la tarea son estrictas, los adultos pueden depender de un mejor control ya que la información sensorial juega un papel mínimo en comparación con los sujetos más jóvenes (Chaput y Proteau, 1996).

Doherty, y cols., (1993) mencionan que el envejecimiento en humanos generalmente se asocia con reducciones en la masa muscular (atrofia), lo que lleva a una reducción de la fuerza contráctil voluntaria y provocada eléctricamente hacia la séptima década para la mayoría de los grupos musculares estudiados. Además, los tiempos de contracción y relajación media se prolongan típicamente en los músculos de los adultos mayores.

El estrés mecánico es el que causa a menudo problemas en la columna lumbar y cervical, muchas personas con dolor lumbar recurrente tienen déficits en el control postural de los músculos del tronco y esto puede contribuir a la recurrencia de los episodios de dolor. Varios estudios han demostrado una activación retardada de

los músculos abdominales profundos y de la espalda y una mayor actividad de los músculos superficiales del tronco en pacientes con dolor lumbar recurrente (Díaz Argente, 2016; Tsao, y cols., 2008).

La fatiga puede tener un origen central, al reducir el rendimiento cognitivo o disminuir la excitación de las neuronas motoras. Varios mediadores están en cuestión (serotonina, 5-HT-modulina, dopamina). Las contracciones musculares durante la fatiga son acompañadas de descargas reducidas de neuronas motoras (Sesboüé y Guincestre, 2006). La fatiga puede describirse como la disminución de la capacidad de un individuo para mantener un nivel de rendimiento. Sin embargo, el tema de la fatiga en el hombre es complejo debido a los diversos fenómenos fisiológicos y psicológicos que contribuyen a ella (De Luca, 1984).

La fatiga, que puede afectar las propiedades propioceptivas y cinestésicas de las articulaciones, aumenta el umbral de descarga del huso muscular, que a su vez interrumpe la retroalimentación aferente y, en última instancia, altera la conciencia conjunta, la fatiga muscular es un fenómeno común en las actividades deportivas y cotidianas, que se traduce en un empeoramiento del rendimiento motor. Se considera uno de los factores que provocan lesiones musculoesqueléticas (Cetin, y cols., 2008; Silva, y cols., 2006). Existe evidencia de que la reducción en la generación de la fuerza producida por fatiga, durante contracciones voluntarias máximas sostenidas (MVC) ejecutadas por sujetos bien motivados, no se debe necesariamente a una disminución en el impulso del sistema nervioso central (SNC) o a una transmisión neuromuscular fallida. Si no únicamente a la falla contráctil de los músculos involucrados (Bigland y Woods, 1984).

De igual manera la fatiga muscular puede estar ocurriendo como resultado de una falla en uno o más sitios a lo largo de la vía de producción de fuerza, los factores específicos que han sido implicados como contribuyentes a la fatiga en varias condiciones o estados de enfermedad incluyen la falla en la activación central, la propagación neuromuscular alterada, el deterioro de la función contráctil o el metabolismo muscular alterado (Johansen, y cols., 2005).

Por otro lado, la fatiga cognitiva se puede entender como un estado motivacional complejo cuyo origen tiene lugar en numerosos procesos fisiológicos y psicológicos que sirven para regular el esfuerzo y proteger al organismo de daños graves (Cárdenas, y cols., 2017), el estrés afecta la cognición, por medio de las catecolaminas de una manera rápida y a través de los glucocorticoides de una manera lenta, mientras que las catecolaminas se involucran a los receptores adrenérgicos beta y también a la disponibilidad de glucosa, mientras que los glucocorticoides modulan bifásicamente la plasticidad sináptica durante mucho tiempo y también producen cambios a largo plazo en las estructuras dendríticas, estos cambios pueden llegar a durar semanas (McEwen y Sapolsky, 1995). Si bien el estrés es un estado de alarma que provoca comportamientos específicos para hacer frente a la situación que esté viviendo el individuo, este nivel de alarma depende de la expectativa del resultado de los estímulos y de las respuestas específicas disponibles para afrontar el estresor (Ursin y Eriksen, 2004).

La fatiga motora se puede medir por medio de la disminución de la fuerza que se produce durante las contracciones sostenidas (Schwid, y cols., 2003), mientras que la fatiga cognitiva puede disminuir los sistemas visual, vestibular y propioceptivo del SNC, lo que contribuye a un mayor balanceo postural (Grobe, y cols., 2017). Sin embargo, la fatiga cognitiva, puede ayudar eventualmente a conducir a una disminución del control cognitivo, facilitar el aprendizaje de secuencias de procedimientos, también puede modificar el equilibrio entre los sistemas de memoria de tal manera que facilite la adquisición automática de nuevas habilidades (Borrogan, y cols., 2016).

Se ha demostrado que la fatiga cognitiva tiene un impacto adverso en la función neuromuscular en los adultos más jóvenes; la capacidad neuromuscular, medida como una función del tiempo de resistencia, se ve afectada negativamente por el estrés cognitivo antes de y durante los ejercicios de fatiga física (Shortz, y cols., 2015).

Por otro lado, la ansiedad también afecta los reflejos motores oculares y el control de la mirada, la ansiedad afecta la eficiencia y, a veces, el rendimiento en tareas

de largo alcance. Los cambios van acompañados de cambios en el comportamiento de la mirada, particularmente la fijación final en el objetivo (Staab, 2014; Nibbeling, y cols., 2012).

## CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

### I.1- Control motor.

#### *I.1.1- Unidad motora.*

El término de unidad motora fue introducida por Charles Sherrington, fundador de la neurofisiología moderna, el cual asumía que cada fibra muscular recibe una inervación únicamente de una neurona motora, provocando que la fibra muscular responda a cada impulso de la neurona motora. Esta unidad motora consta de la neurona motora y las fibras musculares que son inervadas por ella, si bien el término de unidad muscular ha sido introducido para referirse al grupo de las fibras musculares inervadas por una neurona motora específica. Tanto la neurona motora y su unidad muscular son inseparables en función, ya que cada potencial de acción en una neurona activa todas las fibras musculares, así que la unidad motora vista desde un punto de vista funcional, es una entidad indivisible en todos los movimientos electrofisiológicos, metabólicos, mecánicos y propiedades anatómicas de la neurona motora, los músculos anatómicos son visualizados como colecciones de unidades musculares organizadas, generalmente se encuentran en conjuntos paralelos, con ello pueden producir fuerzas en localizados puntos esqueléticos, por lo que permite la contracción muscular, la unidad motora se ha convertido en un concepto fundamental para entender tanto la fisiología del músculo, como el control del movimiento (Burke, 1978; Karpati, y cols., 2010).

Ahora bien, sabemos que la unidad y las neuronas motoras  $\alpha$  varían en tamaño, las pequeñas neuronas motoras  $\alpha$  inervan relativamente pocas fibras musculares y formar unidades motoras las cuales generan una fuerza pequeña, mientras que las neuronas motoras más grandes inervan unidades motoras más grandes y con más potencia. También se encontraran diferencia en el tipo de fibras musculares



que son inervadas, en la mayoría de los músculos esqueléticos, la unidad motora más pequeña está constituida por pequeñas fibras musculares “rojas” las cuales se contraen lentamente y generan una fuerza de menor impacto, estas fibras son resistentes a la fatiga ya que son ricas en mioglobina, poseen abundantes mitocondrias y lechos capilares, por lo que se denominan unidades motoras lentas (S) y son importantes cuando se requiere de una contracción muscular sostenida, como es el mantenimiento de la postura erguida, por otro lado las neuronas motoras  $\alpha$  más grandes a pesar de inervar fibras musculares más grandes, tienen escasas mitocondrias y por lo tanto se fatigan con facilidad, por lo que se denominan unidades motoras fatigables rápidas (FF), son importantes para esfuerzos breves que requieren grandes fuerzas como por ejemplo correr o saltar, por último la tercera clase se encuentra entre las otras dos unidades motoras, está resistente a la fatiga (FR) y posee un tamaño intermedio, sin embargo no son tan rápidas como las unidades FF, estas generan el doble de la fuerza de una unidad motora lenta, por lo que hay más resistencia a la fatiga (Purves, y cols., 2004).

Las unidades motoras cuando actúan juntas produciendo fuerza muscular y con ello provocando una gran variedad de movimientos desde pequeños actos motores controlados con precisión hasta poderosos movimientos balísticos de las extremidades, los movimientos son realizados por variables unidades motoras que cooperan de diferente manera, estos movimientos se logran mediante dos mecanismos, variar el número de unidades motoras que están activas y variar la velocidad de descarga, por lo tanto la fuerza de salida de las unidades motoras individuales. Una neurona motora controla la cantidad de fuerza que se ejerce en las fibras musculares, habrá dos principios que rigen la relación entre la actividad de las neuronas motoras y la fuerza muscular, que será el código de frecuencia y el principio del tamaño como ya se mencionó antes. Las neuronas motoras utilizan un código de velocidad para así poder indicar la cantidad de fuerza que deben ejercer en un músculo, el aumento en la tasa de los potenciales de acción disparados por una neurona motora provoca un aumento en la cantidad de la fuerza que es generada por la unidad motora, si bien cuando una neurona motora

dispara un solo potencial de acción el músculo es contraído levemente para luego relajarse y volver a su estado de reposo, ahora si la neurona motora es activada después de que el músculo haya vuelto a la línea de base la magnitud de la siguiente contracción muscular será la misma que la primera, pero si la tasa de activación de la neurona motora aumenta, produciendo un segundo potencial de acción antes de que el músculo regrese a su estado de reposo, el segundo potencial de acción puede producir una fuerza mayor que el primero. Cuando los potenciales de acción sucesivos ya no producen una suma de contracción muscular, el músculo se encuentra en un estado llamado tétanos (Clamann, 1981; Knierim, 2020).

El control de la fuerza y el tono muscular se produce en el centro del sistema nervioso, este movimiento está controlado por el sistema eferente motor, el corticoespinal y tractos corticobulbares, se denomina sistema piramidal ya que una gran parte de estos tractos se origina en las células piramidales de la corteza motora. Otros tractos descendentes que tiene un impacto en la neurona motora inferior que está involucrada en la fuerza y el tono muscular son los tractos rubroespinales, reticuloespinal y vestibuloespinal, los cuales se denominan tractos bulboespinales (Volpe, 2008).

### ***1.1.2- Músculos de las extremidades superiores asociados a la escritura.***

Los movimientos de la mano dependen de la acción conjunta de muchos músculos, los cuales actúan sobre la muñeca y los dedos, los músculos que posee la muñeca son de gran importancia ya que estabilizan y previene todos los movimientos no deseados, con lo cual permiten que los músculos de los dedos mantengan una longitud adecuada para realizar sus funciones como la tensión y prehensión. Por todo esto se sabe que tanto los músculos de la muñeca y mano están vinculados. Ahora bien, tanto los movimientos de los dedos como de la muñeca tienen que estar trabajando de manera sincrónica, el agarre es más débil con la flexión de la muñeca a comparación con la extensión de la muñeca, esta extensión es fundamental para estabilizar la estructura y permitir el movimiento de

los dedos. Para la estabilidad que se necesita en la muñeca con la extensión necesaria para el funcionamiento adecuado del dedo distal, son necesarios los flexores de la muñeca para que trabajen de manera antagónica con los extensores de la muñeca, para poder proporcionar una buena contracción estable y mantener el control adecuado de la muñeca en su mejor posición funcional (Benhow, y cols., 2016).

De acuerdo con Forro y colaboradores (2021), la extremidad superior comienza en la articulación del hombro o articulación de rótula. En esta extremidad se encuentra presente la articulación “en pivote” el cual permite un movimiento de un hueso sobre otro (figura 3). Las articulaciones de la muñeca se pueden clasificar como una articulación elipsoidal o condiloide, estas articulaciones permiten los movimientos en dos planos, lo que va a lograr la flexión, extensión, aducción, abducción y circunducción.

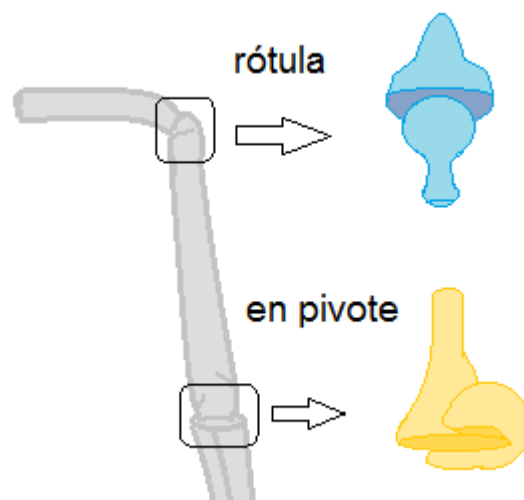


Figura 3. Articulación de la rótula y en pivote. Los movimientos de la escritura son generados desde la extremidad superior (hombro) donde se encuentra la rótula y más abajo el pivote, con ayuda de estas dos articulaciones se logra la escritura.

También menciona que los músculos de la mano se subdividen en tres grupos, los músculos de la palma, hipotenares y tenares, estos últimos van a estar ubicados en el pulgar y consisten en abductor pollicis brevis, felexor pollicis brevis y oponens pollicis, el nervio mediano es el que inerve estos tres músculos, los

músculos hipotenares están ubicados en el lado cubital de la mano, cerca del dedo meñique, los músculos hipotenares constan de dos músculos individuales y tres grupos de músculos. De igual manera existen cuatro músculos lubricales en la mano, los cuales se originan en el tendón del flexor profundo de los dedos y es responsable de la flexión del dedo en la articulación metacarpo falángica y de la extensión de las articulaciones interfalángicas. Cada uno de estos músculos se origina en el tendón del flexor profundo de los dedos y es responsable de la flexión del dedo en la articulación metacarpofalángica y de la extensión de las articulaciones interfalángicas.

Si bien el antebrazo es una región entre el codo y la muñeca, el cual está constituido por un músculo extensor y flexor. La mano posee varios músculos ya que los movimientos que realizamos con ella requieren graduaciones más finas y de todos estos músculos. Hablando de músculos flexores se encuentra el músculo flexor largo del pulgar, el cual está dentro de la capa profunda, el tendón del músculo pasa por un túnel el cual lo lleva de la palma hasta la primera falange distal, esto provoca la articulación interfalángica del pulgar, así como la flexión de la articulación metacarpofalángica. El músculo flexor profundo de los dedos está en las falanges distales del segundo al quinto dedo, haciendo flexionar a las articulaciones interfalángicas distales de los dedos, como también provoca la flexión de la muñeca, el músculo flexor carpi va a tener la función de flexión y aducción de la mano en la muñeca (Shahind, 2022).

Esta arquitectura de los músculos es un importante ya que determina la fuerza y la capacidad de excursión de un músculo. Las fibras musculares poseen un diámetro de fibras relativamente consistente entre músculos de diferentes tamaños y estas diferencias son las que puedan alterar la generación de la fuerza, las diferencias arquitectónicas entre músculos tienen una gran variabilidad y afectar la función (Lieber y Fridén, 2001).

### ***1.1.3- Movimientos reflejos.***

El reflejo es definido como una respuesta motora involuntaria, secretora o vascular, el cual es provocado poco después de un estímulo, que puede ser

consciente o no. Los reflejos que se producen por una respuesta rápida y transitoria a un estímulo se denominan comúnmente como fásicos, las contracciones reflejadas que muestran contracciones lentas y constantes son conocidas como tónicas (Latash y Zatsiorsky, 2016).

La locomoción es un acto motor complejo el cual está controlado por circuitos neuronales en la médula espinal. Los circuitos en las redes locomotoras espinales son los circuitos generados del ritmo y los circuitos generados de patrones, que incluyen circuitos que controlan la actividad muscular bilateral y circuitos que controlan los músculos flexores-extensores, las redes locomotoras ya sea que controlan la locomoción se construyen alrededor de módulos generados de patrones y ritmos (Kiehn, 2016).

Al momento de realizar una tarea estática, los reflejos cutáneos de las extremidades poseen componentes fásicos que ocurren en varias latencias, se componen generalmente de patrones alternantes tanto de supresión como facilitación, un principio del miembro inferior es que en la utilidad funcional de los reflejos es ocasionada en una gran parte por la flexibilidad de las respuestas que ocurren a lo largo de un ciclo de movimiento, trayendo en consecuencia que los reflejos cambien de acuerdo con el contexto conductual, por lo que conlleva a funcionar de manera adecuada, ya sea para corregir o ayudar al movimiento en curso (Zehr y Chua, 2000).

Existen muchos tipos de reflejos, algunos involucran múltiples interneuronas y muchas sinapsis, en la presencia de muchas sinapsis son llamadas polisináptico. Este reflejo al igual que el monosináptico está presente en los seres vivos, especialmente en los seres humanos, ya que este reflejo tiene la función de "huida" y con ello mantenerse a salvo, como también al mismo tiempo está presente el reflejo de extensor cruzado, estas acciones se realizan sin pensar o planificar. El reflejo monosináptico o reflejo de estiramiento muscular, es un reflejo tendinoso profundo, el cual proporciona una comunicación directa entre las neuronas sensoriales y motoras que inervan el músculo. Este reflejo comienza dentro del huso muscular del músculo, el cual detecta tanto la cantidad como la

velocidad de un estiramiento muscular. Cuando el músculo experimenta un estímulo de estiramiento, los impulsos sensoriales se transmiten desde el huso muscular a través de las fibras aferentes hasta la raíz dorsal de la médula espinal. Una vez que se encuentra en el asta dorsal de la sustancia gris de la médula espinal, las fibras hacen sinapsis con la neurona motora alfa correspondiente en el asta ventral de la médula espinal, esta fibra eferente alfa luego sale a través de la raíz ventral y regresa enviando un potencial de acción a la unión neuromuscular del músculo original que inició el reflejo de la sinapsis para causar la contracción, por esto el músculo resiste la fuerza que inicialmente provocó el reflejo (Jakobi, y cols., 2017; Walkowski y Munakomi, 2014).

#### ***1.1.4- Vías descendentes.***

Las vías descendentes están involucradas de manera diferencial en el control motor, esto involucra a toda la red motora en el lugar de que el cerebro controle toda la médula espinal, estas vías tienen características anatómicas, moleculares, farmacológicas y neuroinformáticas, y cada vía puede tener muchos roles funcionales. Esta vía se puede agrupar según su origen en dos clasificaciones, las que proceden de la corteza cerebral y las del tronco encefálico, las neuronas motoras de los músculos extensores y flexores reciben la influencia monosináptica de las vías descendentes de la médula espinal de origen supraespinal. Se pudo demostrar que el efecto sobre las neuronas motoras de los músculos extensores se origina en el núcleo vestibular lateral (Lund y Pompeiano, 1965; Lemon, 2008; Kuypers, 1964).

Knierim (2020) menciona que los circuitos reflejos demuestran que el procesamiento neural sofisticado ocurre en el nivel más bajo de la jerarquía motora. Estos reflejos automáticos pueden ser modulados, sin embargo, por niveles superiores de la jerarquía. Estas modulaciones tanto facilitadoras como inhibitorias de los reflejos espinales surgen de las vías descendentes del tronco encefálico y la corteza. El movimiento voluntario y algunas acciones reflejas impulsadas por los sentidos también están controladas por las vías descendentes. El sistema corticoespinal controla las neuronas motoras y las

interneuronas en la médula espinal, mientras que el sistema corticobulbar controla los núcleos del tronco encefálico que inervan los músculos craneales.

La vía descendente surge de una serie de sitios del tronco encefálico, incluido el núcleo parabraquial, el dorsal rafe, locus coeruleus y la formación reticular medular. Para que un umbral bajo pueda provocar movimientos, tiene que ser un indicador de un camino relativamente grande y directo desde el área primaria hasta las neuronas motoras inferiores del tronco encefálico y la médula espinal. Esta sección y la continuación se centrarán en la organización y las funciones de la corteza motora primaria y sus vías descendentes, mientras que la siguiente sección aborda las contribuciones de las áreas premotoras adyacentes. Las vías descendentes desde los centros superiores comprenden los axones de las neuronas motoras "superiores" y modulan la actividad de las inferiores neuronas motoras al influir en este circuito local (Purves, y cols, 2004).

### ***1.1.5- Núcleos subcorticales del control motor.***

Los ganglios basales corresponden a un grupo de los núcleos subcorticales que son responsables principalmente del control motor, como también del aprendizaje motor, de los comportamientos ejecutivos y las emociones. La información de estos fluye a través de dos vías con efectos opuestos y con ello se logra el funcionamiento correcto de los movimientos. Tanto los ganglios basales y los núcleos relacionados consisten en una variedad de dos grupos de células subcorticales los cuales tiene la función del control motor, estos se pueden clasificar en términos generales como núcleos de entrada, núcleos de salida y núcleos intrínsecos, los de entrada son aquellos que reciban información entrante de las diferentes fuentes, principalmente de origen cortical, talámico y nigra, mientras que los de salida son aquellos que envían información de los ganglios basales al tálamo y consiste en el segmento interno del glóbulo pálido y la sustancia negra pars reticulata, por últimos los núcleos intrínsecos como el segmento externo del glóbulo pálido y la substantia nigra pars compacta, se ubican entre los núcleos de entrada y de salida en el relevo de información. El funcionamiento apropiado del sistema de ganglios basales requiere que se libere

dopamina en los núcleos de entrada. La disfunción de la dopamina se asocia con varios trastornos del movimiento de los ganglios basales, como el síndrome parkinsoniano, la distonía, la corea y los tics (Lanciego, y cols., 2012).

Otro núcleo importante para el control motor es el núcleo reticular lateral (LRN) es un importante centro precerebeloso formado de fibras musgosas que llevan información al cerebelo desde la médula espinal y el cual es distinto de las vías espinocerebelosas directas. Tradicionalmente, se ha considerado que el LRN proporciona al cerebelo información segregada de varios sistemas espinales que controlan la postura, el alcance, el agarre, la locomoción, el rascado y la respiración (Alstermark y Ekerot, 2013).

El tálamo está constituido de núcleos talámicos los cuales se encuentran ubicados entre las áreas motoras de la corteza cerebral y dos redes subcorticales, como también en los ganglios basales y el cerebelo, se encuentra relacionado con el control cognitivo y con el movimiento, existen estudios donde indican que el tálamo motor tiene un papel en el mantenimiento de la postura, los movimientos generales y el aprendizaje motor. En los mamíferos, el tálamo motor está representado por una región relativamente consistente del tálamo ventral, fuertemente interconectada con la corteza motora cerebral, y recibe numerosas entradas aferentes de estructuras prominentes relacionadas con el motor, como el cerebelo y los ganglios basales (Bosch, y cols., 2013).

### ***1.1.6- Corteza motora.***

Las neuronas motoras superiores en la corteza cerebral residen en varios núcleos adyacentes y áreas altamente interconectadas en el lóbulo frontal, que juntas median la planificación e iniciación de secuencias temporales complejas de movimientos voluntarios. Todas estas áreas corticales reciben información reguladora de los ganglios basales y el cerebelo a través de relevos en el tálamo ventrolateral, de esta forma es como entradas de las regiones sensoriales somáticas del lóbulo parietal. Esto es conocido como corteza motora, la cual se usa para referirse a estas áreas frontales colectivamente, más comúnmente se restringe a la corteza motora primaria, que se encuentra en la circunvolución



precentral. La corteza motora primaria se puede distinguir de la premotora adyacente y por la baja intensidad de corriente necesaria provoca movimientos en esta región. Un umbral bajo para provocar movimientos es un indicador de un camino relativamente grande y directo desde el área primaria hasta las neuronas motoras inferiores del tronco encefálico y la médula espinal. Si bien la corteza motora predice movimientos específicos segundos antes de que sucedan (Purves, y cols., 2004).

Se han observado oscilaciones en las bandas beta y gamma (13 a 30 Hz; 35 a 70 Hz) en las salidas de la corteza motora que llegan a la médula espinal y actúan sobre las neuronas motoras y las interneuronas. Sin embargo, las frecuencias de estas oscilaciones están por encima del rango de frecuencia de la fuerza muscular. La transformación de las entradas del grupo de neuronas motoras en vigor es lineal, por esta razón, los posibles roles de estas oscilaciones no están claros, ya que, si esta transformación es lineal, las altas frecuencias en las entradas de las neuronas motoras. La amplitud beta y la fase delta en la corteza primaria motora, modula con respecto a la atención, la amplitud beta aumenta durante la anticipación de una señal informativa, esta amplitud alcanza su punto máximo en 50 ms antes del inicio de las señales de instrucción relevantes para una tarea, la fase delta va a seguir el ritmo de las señales relevantes para la tarea (Watanabe y Kohn 2015; Saleh, y cols., 2010).

## **I.2- Escritura.**

### ***I.2.1- La escritura.***

La escritura es un sistema de marcas gráficas que representan las unidades de un idioma específico. Las unidades por representar (ya sean sonidos individuales, sílabas, partes de palabras o la combinación de las tres) son una función de la estructura del lenguaje escrito, las necesidades y tradiciones de la sociedad que usa ese sistema, como también la capacidad del cerebro humano (Schemandt-Besserat y Erard, 2009).

La escritura apareció en dos lugares tan separados como Mesopotamia y China hace unos 5.000 años. En la historia de la escritura se han dado diversas formas de representar el lenguaje: los primeros pictogramas descubiertos en Mesopotamia, los jeroglíficos egipcios, los ideogramas chinos, la escritura silábica y el alfabeto fonético. Por lo que la escritura es uno de los logros más importantes de la humanidad y es un medio clave para la generación y transmisión de la cultura (Lebrero Baena y Fernández Pérez, 2015)

Por lo anterior se menciona que “la escritura es un acto voluntario, aunque automatizado, que surge como consecuencia de una actividad cerebral que abarca funciones interrelacionadas estrechamente” (Montalaban, 2014). Por lo que podemos decir que es una actividad cerebral localizada en zonas concretas y determinadas en los hemisferios, los cuales harán posible la integración y reproducción de las imágenes que son percibidas por los sentidos.

Este acto gráfico es un movimiento que requiere para su correcta ejecución, de un inicio y una programación. En las áreas asociativas parietales dependiendo principalmente de las áreas motoras suplementarias, las cuales son responsables de la intención del movimiento. Esta área inicia y organiza el programa motor, su duración, importancia y la cronología de activación de los músculos flexores y extensores de los dedos de la muñeca (figura 4). Determina el momento en el que se comienza a escribir, por lo que su papel es fundamental en la preparación del movimiento (Calvillo del Pino, 2014).

Montealegre y Forero (2006), nos dicen que el aprendizaje del lenguaje escrito consiste en apropiarse de un sistema determinado de símbolos y signos cuyo dominio marcará un momento crucial en el desarrollo cultural del niño.

Por lo que escribir es una tarea muy compleja que implica diversos procesos mentales, cognitivos y afectivos, los cuales estarán involucrando a todo el cerebro. Para poder escribir se tienen que alcanzar destrezas motoras y competencias narrativas.

Por lo tanto, será necesario que los individuos tengan la madurez neuro psicoafectiva correcta. Esta se debe haber desarrollado durante los años de preescolar del individuo y se estima que es sobre los seis años cuando se dan las características y requisitos adecuados para que ese aprendizaje sea efectivo (Muñoz-Navarro, 2012).

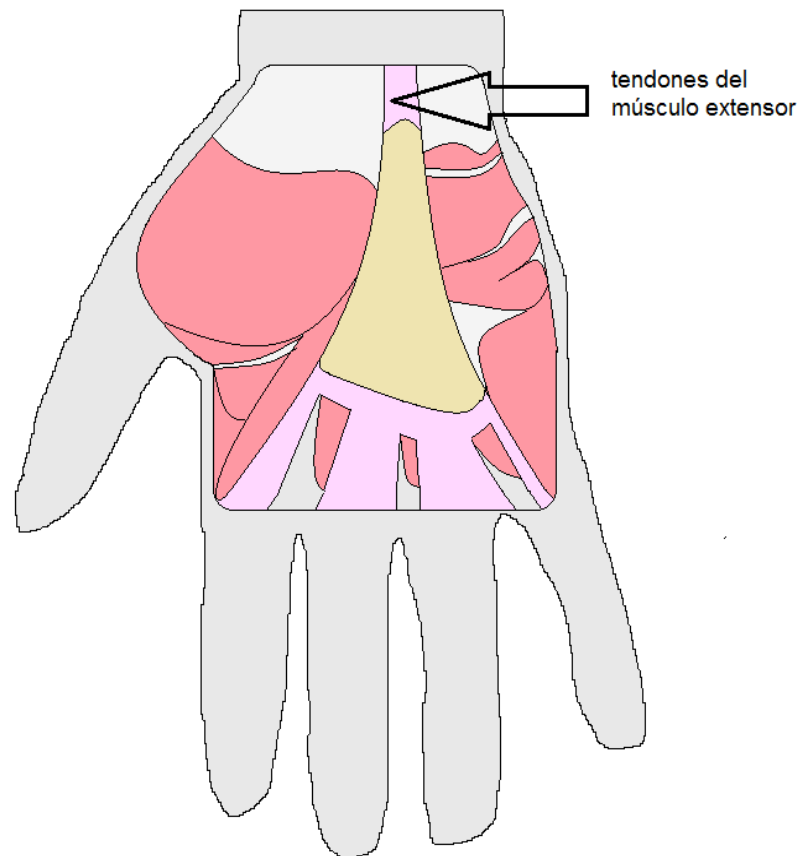


Figura 4. Tendones del músculo extensor de los dedos de la mano. Los tendones del músculo extensor son fundamentales para el acto gráfico ya que a través de estos se activan los músculos flexores y extensores de los dedos de la mano.

### ***1.2.2- Funcionamiento de la escritura.***

La escritura es el resultado de un movimiento muscular, el cual se genera a partir de la integración neuromuscular y de una coordinación visomotora, las redes neuronales serán las encargadas de las distribuciones en el cerebro, esto permitirá que seamos capaces de leer, escuchar, codificar sonidos y escribir. Todo

esto se lleva a cabo en el lóbulo occipital, este es el encargado del área visual, mientras que en el giro temporal inferior se localiza la auditiva, asociadas lógicamente a las redes responsables de la motricidad (Montalaban, 2014) como se muestra en la figura 5.

La escritura implica un proceso de automatización, para poder lograr esto se requiere de un contexto descontextualizado y repetitivo de la escritura, ya que debido a las dificultades que tienen para codificar los patrones de movimientos musculares implicados en hacer la forma de las letras, en donde a través de la práctica se irá integrando la forma de las letras en la memoria a largo plazo. Por esto es necesario construir memoria muscular de la forma de las letras, ya que esto favorecerá la fluidez, que es la habilidad de escribir sin pensar conscientemente en la forma de las letras (Abrines-Muñoz y Loreto, 2020).

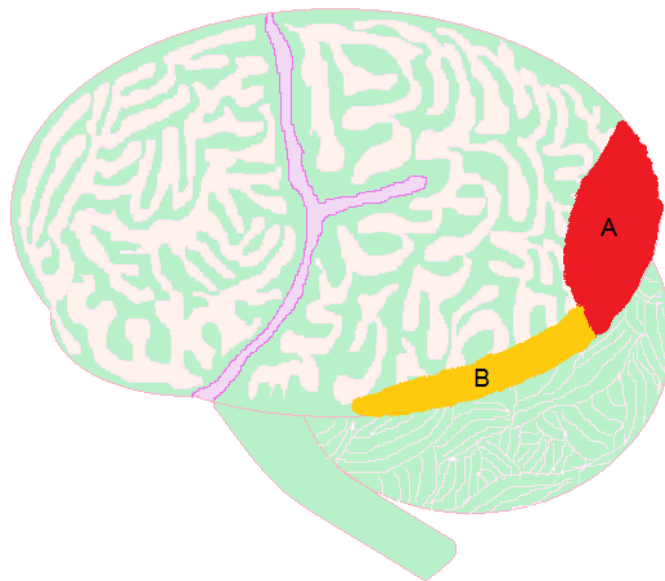


Figura 5. Representación del lóbulo occipital (A), giro temporal inferior (B). Fundamentales para la escritura ya que en estas áreas del cerebro se encargan de la vista y motricidad de los individuos, en conjunto estas áreas son indispensables para realizar la escritura.

También implica la activación del área visual primaria, situada a ambos lados de la cisura calcarina, en los lóbulos occipitales. Desde la cisura calcarina, la señal pasa al córtex occipital secundario localizado en los dos hemisferios. En esta zona tiene

lugar la identificación de los grafemas y su disposición en secuencia de manera que se capte el significado del mensaje. Esta nueva señal pasa a la encrucijada occipito-parieto-temporal izquierda desde donde se proyecta hacia las áreas del lenguaje (Puente y Ferrando, 2000).

Para generar la escritura se necesita de una coordinación de motricidad fina, sensorial motora, coordinación de los sentidos y el área viso motora.

De acuerdo con Quintanal (2011), en cuanto a la anatomía de la mano, se ven involucrados una gran cantidad de elementos que participan del control de la escritura, los cuales son los siguientes:

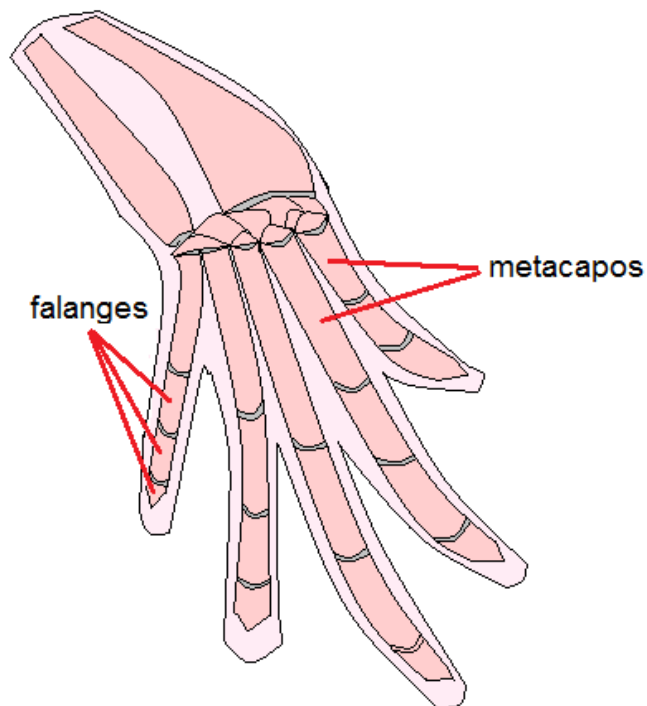


Figura 6. Representación de los huesos de la muñeca. Los metacarpos y falanges son los huesos encargados de la movilidad de los dedos de la muñeca.

Los huesos que se articulan con la muñeca son los metacarpianos; son cinco y se denominan, primero, segundo, tercero, cuarto, quinto. Estos se articulan con las falanges; cada dedo tiene 3 falanges, menos el primer dedo que sólo tiene dos. Las falanges se denominan primera (la que se articula con el metacarpiano), la segunda y la tercera (la más distal) (figura 6).

Todas las articulaciones están reforzadas por ligamentos, las interfalángicas (articulaciones entre dos falanges del mismo dedo) se estabilizan por los ligamentos colaterales, que se sitúan a ambos lados de la articulación y por un refuerzo anterior de la cápsula.

La musculatura de la mano es muy amplia, se divide en la musculatura intrínseca, que tiene su origen e inserción en la mano, y la extrínseca, que son los músculos que tienen su origen en el antebrazo y se insertan en la mano. La musculatura intrínseca incluye a los interóseos, los lumbricales, y los grupos musculares de la región del meñique y del dedo pulgar que dan más movilidad a estos dedos. La musculatura extrínseca tiene como función principal la flexión y extensión de los dedos de la mano. Además de los músculos, huesos y ligamentos, existen dos tejidos fibrosos a modo de capa que recubre los músculos y los separan. Son las aponeurosis palmar y dorsal.

La mano participa en la escritura ejerciendo un efecto llamado “presión anatómica”, que es la que nos permite ejercer la escritura. El dedo pulgar adopta una posición de soporte (sobre él que se apoya el instrumento), su implicación en el ejercicio resulta mucho mayor, pues todo el control funcional lo ejerce este dedo por ser el que mayor movilidad posee (figura 7), los demás sólo pueden flexionar-extender. mientras que el pulgar permite controlar la orientación en el espacio y además la rotación automática (Quintanal, 2011).

Durante la vida evolutiva del individuo se adquieren diversos tipos de presión o pinza, hasta llegar a un determinado punto donde adopta la posición anatómica adecuada de la mano y dedos en el momento de agarrar el objeto que se presenta, esta depende de la forma y tamaño, dentro de los tipos de presión se pueden determinar (Macías, y cols., 2020):

- Presión palmar: sostiene objetos en cilindro, es decir con todo el pulgar.
- Presión radial - palmar: el pulgar se independiza del resto de los dedos.
- Presión digital: uso del pulgar como apoyo junto con los demás dedos.

- Presión tridigital: control de movimientos de los dedos índice, pulgar y medio.
- Presión bidigital: en la que el dedo medio se usa como soporte, y los dedos índices y pulgares como instrumentos, se la denomina también trípode.



Figura 7. Representación de la presión anatómica en el agarre de la pluma. La presión anatómica es indispensable para el acto del grafismo ya que con esta técnica se tiene el manejo de la pluma.

Para lograr ejercer la escritura se presentará la integración de los tipos de presión mencionados, conociéndola como presión o pinza anatómicas y con ello se podrá ejercer la escritura.

De acuerdo con Ferrucho (2014) el cerebro también está interviniendo en el proceso de la escritura de la siguiente manera:

- La corteza parietal del hemisferio izquierdo: para relacionar las áreas de codificación temporal con las áreas occipitales, para la construcción de imágenes mentales.
- La corteza frontal motora, el área premotora y el cerebelo: está relacionadas con el control motriz de la mano.

- El área pre-motora: está relacionada con los estímulos visuales, auditivos o táctiles.
- Ganglios basales: por ellos se da la iniciación de programas y planificación motores.
- El hemisferio derecho: se encarga de la decodificación de las letras para después relacionarlo con el hemisferio izquierdo.
- El hemisferio izquierdo: se encarga de la representación mental del esquema global de las imágenes.
- Los lóbulos frontales: a partir de una idea.

### ***1.2.3- Motricidad fina.***

La motricidad hace referencia a la capacidad de las personas para controlar los movimientos de su cuerpo necesarios para el desarrollo, tanto motor como cognitivo, estos son los aspectos claves para un acertado desarrollo de la escritura que implica un conocimiento del lenguaje escrito y de los movimientos finos como la pinza o presión digital para coger el lápiz (Calvillo del Pino, 2014).

La motricidad es parte fundamental en la adquisición de la mayoría de las habilidades en la niñez y hasta en la vida adulta. A partir del nacimiento se debe ir entrenando gradualmente de acuerdo con la edad y patrones motrices. La motricidad se entiende cómo la vivencia de la corporeidad para expresar acciones que implican desarrollo del ser humano (Ferrucho, 2014).

El autor Simón-Yanet (2015), nos indica que la motricidad fina se relaciona directamente con los elementos anatómicos, fisiológicos y sociales, los que condicionan su surgimiento y posterior desarrollo en el individuo como ser social, anatómico y funcional en cualquier sociedad. También el dominio de las acciones motrices finas supone ajuste y precisión de las manos en la presión y ejecución para la realización de los movimientos.

Burr y Choudhury (2021), hablan de la motricidad fina, donde nos dicen que implica una coordinación compleja entre numerosas estructuras del sistema nervioso central y periférico como son:



- Corteza premotora y motora: centros corticales superiores los cuales están encargados de iniciar el movimiento.
- Cerebelo: es muy importante para la coordinación del movimiento en especial los movimientos finos complejos.
- Ganglios basales: es esencial para la coordinación y actúa como “guardianes” de los movimientos voluntarios.
- Tractos corticoespinales descendentes: transporta la información motora integrada a través del tronco encefálico para así poder hacer sinapsis con las neuronas motoras inferiores del nervio espinal.
- Nervios periféricos: transportar toda la información motora integrada desde la médula espinal hasta los grupos musculares que lo requieran.
- Visuoespacial: se encarga de la retroalimentación visual, el cual es muy importante en el desarrollo del control motor fino, sin embargo, también se pueden realizar movimientos finos sin ninguna retroalimentación visual (en la escritura es fundamental).
- Musculoesquelético: se encarga del control de la motricidad fina para hacer movimientos articulares precisos, por medio de los músculos y articulaciones, en la mano se encuentran 30 músculos y 20 articulaciones.

Con respecto a las áreas que controlan la madurez de la motricidad fina en el sistema nervioso central, son los sistemas motores piramidal y extrapiramidal, exactamente en el área de Brodmann con sus diferentes centros como el área óculo-manual, área premotora y el área motriz, que gobiernan los músculos de las diferentes partes del cuerpo (Huamán y Núñez, 2017).

Por lo que la motricidad fina es definida como “aquella que garantiza la integración de las funciones neuropsicológicas, esqueléticas y musculares, requeridas para hacer movimientos pequeños, precisos y coordinados, que sólo se desarrollan como resultado de un proceso madurativo e interrumpido, asociado a las formas en que se les organiza el proceso de apropiación de la experiencia, basada en el conocimiento” (Simón-Yanet, 2015).

En cuanto al área gráfica la motricidad fina empieza alrededor del año y medio, con pequeños garabatos libres y espontáneos, sin ningún tipo de limitación ni coordinación, incluso aquí todavía no domina la que es el manejo de la pluma o pinza. Es alrededor de los dos años donde empiezan sus habilidades que se refuerzan por medio de la experiencia y práctica. A partir de los 3 años es cuando comienza un individuo a realizar trazos más finos, ya que ya tendrá mayor control sobre el lápiz, crayón, pintura y pinceles finos, así que a partir de esta edad en adelante los individuos ya empiezan a tener mejor dominio de trazos (Panduro y Morales, 2018).

La escritura es un aprendizaje para los individuos sobre lo que está a su alrededor, el cual se irá adquiriendo conforme a la maduración neurológica y la variedad de actividades motrices que hacen que adquiera un dominio en la posición de sus manos y dedos en el agarre de objetos. Por lo que a la escritura se le conoce como una motricidad fina, para poder generar la escritura es importante la práctica y agarre de la presión o pinza anatómica.

Es importante la práctica del agarre de la pinza o presión, ya que con ayuda de ejercicios que fortalezcan la musculatura de las manos, esto favorecerá a la ejecución de trazos que facilitarán posteriormente la escritura (Macías, y cols., 2020).

Para generar la presión anatómica se requiere de movimientos finos, estos se refieren a los pequeños movimientos y muy precisos de la mano y muñeca que serán adquiridos por medio de la motricidad. Cabrera y Dupeyrón (2019), mencionan que esta motricidad fina se ubica en la tercera unidad funcional del cerebro, donde se interpretan emociones y sentimientos, localizada en el lóbulo frontal y en el giro precentral (figura 8). Esto se realiza de manera compleja ya que exige la participación de muchas áreas corticales, haciendo referencia a la coordinación de las funciones neurológicas, esqueléticas y musculares utilizadas para producir movimientos precisos.

Para que los individuos lleguen a un nivel alto de la motricidad fina, se debe iniciar su estimulación desde una etapa temprana, siempre partiendo desde lo más simple y continuar con lo más complejo respetando el desarrollo evolutivo del individuo.

Como menciona Zabala-Carrillo (2013), los ejercicios de motricidad fina se relacionan con la coordinación óculo-manual, se necesita estimulación fuerte ya que supone un gran esfuerzo para el cerebro, los ejercicios deben estar orientados a estimular especialmente el tacto y la manualidad.

Si los individuos no tienen bien desarrollada la motricidad fina tendrán dificultades y lagunas en el ámbito lecto-escritura, porque existe una estrecha relación entre el desarrollo de las habilidades motoras y los aprendizajes más complejos.

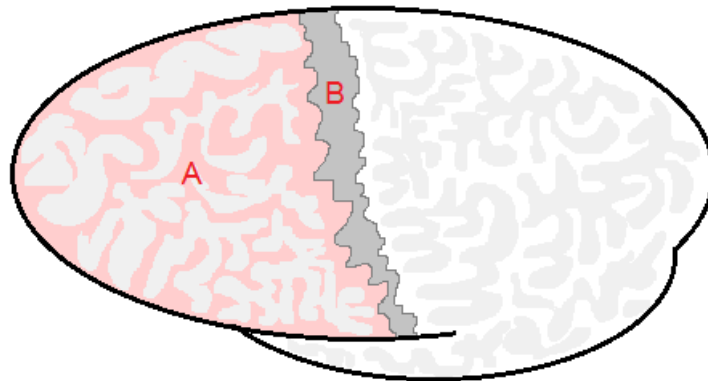


Figura 8. El proceso de escritura se lleva a cabo a través del lóbulo frontal (A) y el giro precentral (B) ya que están encargados de la motricidad fina.

#### ***1.2.4- Teoría del control motor en la escritura.***

La motricidad es importante durante el proceso de desarrollo y aprendizaje en los individuos, en las diferentes áreas motrices está implicada la escritura, la cual no se desarrolla antes del proceso de maduración neuronal y motriz, el desarrollo de la escritura empieza desde el nacimiento y se irá perfeccionando por medio de la estimulación y entrenamiento. La escritura es reconocida como la producción de signos gráficos en donde los seres humanos plasman conocimientos, ideas y pensamientos (Ferrucho, 2014).

Hablando de procesos motores específicos utilizados en la escritura, el modelo más utilizado es el de Galen que realizó en 1991, ya que se basa en diversas investigaciones sobre la producción de procesos motores en la escritura a mano. Estos “motores” en la escritura son vistos como códigos que especifican el número de unidades motoras básicas y su espacio temporal, relaciones de una manera abstracta e independiente del efecto (Palmis, y cols., 2017).

Ahora bien, la escritura implica coordinación como una habilidad en movimientos complejos y combinaciones, estos movimientos están coordinados entre sí y parecen anticipados, esto es porque el tiempo entre los submovimientos en un movimiento habitual, es menor que las estimaciones del tiempo que lleva a procesar la retroalimentación e iniciar nuevos movimientos. Los submovimientos que componen un movimiento se almacena en la memoria de tal modo que se secuencia y se ejecutan sin problemas en respuesta a un estímulo o procesamiento de retroalimentación en diferentes combinaciones. Para la ejecución de estos movimientos hay articulaciones y músculos, entre dedos y muñecas, estas articulaciones musculares difieren en geometría y la implementación del codo y el hombro, estas diferencias ente músculo-articulación pueden controlar los movimientos por otra combinaciones de músculos, como es dedo-muñeca está es usada para la escritura normal mientras que codo-hombro es para escrituras más grandes (pizarras) y gracias a estas interacciones entre articulaciones y músculos es que se puede realizar la escritura (Wright, 1990).

Como se mencionó anteriormente la escritura es un proceso de una combinación de diversos músculos, por lo que es una gran diversidad de actividades motoras, desplazamientos del cuerpo, mantenimiento de la postura, agarre y manipulación de objetos; la escritura se distingue por ser una técnica aprendida y practicada, por lo que implica una teoría cognitiva unificada de todas las habilidades motoras, en lo que se incluye el agarre de los objetos y postura (Teulings, 1996).

Sabemos que la escritura es un proceso que se aprende el cual es un proceso largo y exigente, este empieza alrededor de la edad de los 2 años, en esta etapa se empieza a producir movimientos, los cambios más drásticos que se tienen en

las características de la escritura van a ocurrir entre los 5 y 10 años, todo este proceso de la escritura termina en la adolescencia tardía (Palmis, y cols., 2017).

### ***1.2.5- Afectaciones fisiológicas de la escritura (neuropatologías y lesiones).***

Alrededor del 13 y 27% de los niños entre 6-12 años presentan dificultades en la escritura. Los movimientos de motricidad fina es el mejor indicador para ver el rendimiento de la escritura, por lo que la motricidad fina es indispensable para evaluar la disfunción en la escritura. Como es el caso de los niños que presentan trastorno del desarrollo de la coordinación (DCD) presentan un rendimiento académico reducido, ya que este trastorno va a afectar directamente a la habilidad de escribir (SHAO y NAN, 2010).

Las alteraciones en la escritura son afectadas principalmente por discapacidad motora fina, ya que esta discapacidad impide al individuo para realizar tareas que requieren un grado de destreza manual, para realizar movimientos motores finos simples, como es en la escritura, se ve afectada la comunicación entre la corteza premotora y motora, el cerebelo, los ganglios basales, los tractos corticoespinales y los nervios periféricos, como también procesamientos visoespacial, sensorial y de funciones ejecutivas, los cuales son fundamentales para los movimientos finos que se ejecutan al momento de realizar la escritura (Burr y Choudhury, 2021).

De igual manera Burr y Choudhury (2021), mencionan que las lesiones musculoesqueléticas pueden afectar a las habilidades motoras finas, ya que afectan los movimientos precisos, voluntarios y coordinados que ejecuta la mano. Problemas en las áreas importantes para la escritura afectan el rendimiento en la motricidad fina y por lo tanto en la escritura, tales como:

- Corteza premotora y motora: el daño específico a estas áreas puede conducir a la parálisis completa de los grupos musculares específicos y, por lo tanto, a la incapacidad para realizar tareas motoras finas o gruesas.
- Cerebelo: una lesión del hemisferio cerebeloso provoca una ataxia de las extremidades, por lo tanto, discapacidad motora fina.

- Ganglios basales: las enfermedades como son el Parkinson y de Huntington, provocan temblor y rigidez, lo que provoca que no se realicen los movimientos finos necesarios para las tareas de motricidad fina.
- Tractos corticoespinales descendentes: lesiones en esta área provoca signos de neurona motora superior, con espasticidad, aumento de los reflejos y niveles variables de disfunción motora gruesa y fina que dependen de la gravedad de la lesión.
- Nervios periféricos: el síndrome del túnel carpiano con empeoramiento del control motor fino en la mano afectada debido a la compresión del nervio mediano debajo del retináculo flexor.
- Visuoespacial: las personas ciegas por nacimiento no podrán realizar la tarea de la escritura a mano, ya que para esta es indispensable la vista, por los movimientos oculares que se realizan al escribir.
- Musculoesquelético: la artritis reumatoide, es una enfermedad que causa inflamación/daño/sarcopenia articular que puede causar discapacidad motora fina afectando la escritura de los individuos.
- Neuropsiquiátrico: trastornos del espectro autista y el trastorno por déficit de atención

Doherty, y cols., (1993) mencionan que el envejecimiento en humanos generalmente se asocia con reducciones en la masa muscular, lo que lleva a una reducción de la fuerza contráctil voluntaria y provocada eléctricamente hacia la séptima década para la mayoría de los grupos musculares estudiados. Además, los tiempos de contracción y relajación media se prolongan típicamente en los músculos de los adultos mayores.

También se han encontrado alteraciones debido a la edad en donde investigaciones han demostrado que se presentan disminuciones del rendimiento motor debido al aumento de la edad, ya que las personas mayores requieren una activación más compleja del sistema motor y con ello tener un rendimiento similar al de las personas más jóvenes. El envejecimiento es asociado con una disminución relativa de la excitabilidad de los circuitos inhibidores intracorticales,

se sabe que durante el envejecimiento hay más dificultades durante la desaceleración y porciones de procesamiento de circuitos cerrados (Oliviero, y cols., 2006; Smith, y cols., 1999).

Los adultos procesan la información sensorial disponible para una tarea de manera similar a los jóvenes pero a menor velocidad, sin embargo cuando la tarea es más exacta los adultos pueden depender más de los modos de control en los que la información sensorial juega un papel mínimo en comparación a los jóvenes, sin embargo cuando existe la presencia de objetivos múltiple, los adultos mayores se adaptan de una manera óptima aun objetivo central, por lo tanto esto sugiere que los adultos procesan la información sensorial disponible en ese tipo de tareas de manera similar a los sujetos más jóvenes pero a menor velocidad, como ya se había mencionado anteriormente. Sin embargo, cuando las restricciones temporales de la tarea son estrictas, los adultos pueden depender más de los modos de control en los que la información sensorial juega un papel mínimo en comparación con los sujetos más jóvenes (Chaput y Proteau, 1996).

### ***1.2.6- Estresores mecánicos y cognitivos.***

El estrés causado por eventos en la vida de los individuos afecta los procesos cognitivos como es la memoria del trabajo, en el almacenamiento de memoria temporal se ve afectada ya que se limita debido al estrés cognitivo que tienen en su vida cotidiana los individuos (Lukasik, y cols., 2019).

Un estrés mecánico provoca cambios citoesqueléticos y fenotípicos en las células de los individuos (Deng, y cols., 2004), las respuestas fisiológicas intensificadas al estrés suprimen potencialmente la respuesta inmunitaria y aumentan la vulnerabilidad a los trastornos de estrés y ansiedad como también los musculoesqueléticos, un estresor cognitivo altera las funciones musculoesqueléticas provocando aumento de la inquietud, temblores y sensación de debilidad, por esto es que el rendimiento motor de las tareas de precisión se ven afectadas. De igual manera la fatiga durante una tarea motora puede causar decrementos en el desempeño de una tarea que involucra un estado cognitivo y motor (Yoon, y cols., 2009).

Se sabe que el estrés puede tener un efecto tanto negativo como positivo en el rendimiento motor, el sistema motor es ruidoso y este es responsable de la variabilidad que se tiene durante la ejecución del movimiento, ahora en cuanto al estrés físico (hablando de un ruido auditivo) y el estrés cognitivo ( cuando se realizan múltiples actividades simultaneas) ambos provocan un efecto activador en el sistema motor, provocando con ello el aumento de ruido neuromotor en el sistema motor y el procesamiento de la información, los individuos para filtrar dicho ruido lo hacen de dos maneras, aumentando el tiempo de procesamiento cognitivo antes de ejecutar un movimiento o aumentando las propiedades mecánicas de las extremidades y con ello generando un incremento en la rigidez de las extremidades.

Hablando del rendimiento se sabe que un aumento de estrés es benéfico para el rendimiento hablando de tareas motoras simples, sin embargo, perjudicial para tareas motoras más complejas. En cuanto al estrés muscular tiene una mejora en el tiempo de respuesta al aumentar la activación, pero en cuanto al estrés cognitivo dificulta el tiempo de respuesta. Se sabe que ambos estresores aumentan la rigidez de las extremidades, lo que provoca un aumento en la presión que se ejerce en el lápiz durante la escritura (Aiken, y cols., 2015).

### **I.3- Estrés y oscilaciones involuntarias.**

#### ***I.3.1- El estrés sobre los músculos.***

Biológicamente se sabe que la corteza prefrontal ejecuta la memoria activa y el recuerdo, el cual es el sitio donde se unen las sensaciones y emociones. Cuando el circuito límbico, que converge en la corteza prefrontal, se encuentra sometido por el estrés, la perturbación y algunas emociones como es la depresión, lo que lleva a la eficiencia de la memoria activa, esto quiere decir que no se puede pensar correctamente.

Un estresor son estímulos, en general aversivos y potencialmente perjudiciales, que influyen en el individuo. Pueden dividirse en exteroceptivos (como temperaturas extremas, descargas eléctricas o situaciones sociales) e



interoceptivos (desde problemas de salud, como molestias gástricas, a problemas psicógenos, como temor injustificado o dificultades de aprendizaje) (Sandi, 2012).

La respuesta fisiológica al estrés consiste en respuestas generadas en circuitos cerebrales específicos (procesamiento sensorial, emocional y cognitivo de los estímulos por el sistema nervioso central) y en el sistema periférico. La mayor parte de los circuitos neurales no solo tienen la capacidad de procesar información, sino también de influir finalmente en el grado y la dirección de la activación de los sistemas fisiológicos periféricos. En lo que respecta a las respuestas periféricas, los dos sistemas más importantes que se activan en situaciones de estrés son la rama simpática del sistema nervioso autónomo y el sistema neuroendocrino consistente en el eje hipotalámico-hipófisis-suprarrenal (HHS) (Sandi, 2012).

El estrés es una parte normal de la vida de toda persona, y en dosis bajas puede resultar pasivo, ya que motiva y ayuda a las personas a ser más productivas. Sin embargo, el exceso de estrés o una fuerte respuesta a este durante un largo período puede ser dañino para la mente y el cuerpo. Esto puede predisponer a la persona a tener una salud general deficiente, al igual que enfermedades físicas y psicológicas como infecciones, enfermedades cardiovasculares o depresión. Cuando un organismo tiene miedo o se enfrenta a una emergencia, su cerebro responde activando el sistema nervioso simpático y segregando adrenalina. El corazón late más rápido, la respiración se acelera, la sangre abandona los estratos superficiales de la piel y se dirige hacia los músculos, donde lleva una mayor cantidad de oxígeno, preparando así al cuerpo para la acción. Los sentidos se agudizan y la mente aumenta el estado de alerta. Todo esto capacita al organismo para responder a la emergencia, bien sea luchando o huyendo de ella (Capdevila y Segundo, 2005).

Martínez (2009), nos habla sobre tener en cuenta que uno de los sistemas diana del estrés es el neuromuscular, que se traduce en una respuesta de incremento del tono muscular (hipertonía muscular), es fácil deducir que el estrés puede ser el origen de diversas afecciones musculoesqueléticas que tienen como base un

incremento de la tensión muscular. Básicamente la hipotonía muscular reactiva puede originarse en dos tipos de situaciones:

- Netamente amenazadoras, que originan un estado de alerta o vigilia en que el organismo moviliza sus recursos en previsión del enfrentamiento, de la huida o de una reacción de estupor; esto se traduce, entre otros efectos, en un aumento del tono muscular.
- Situaciones menos amenazadoras, como las que se encuentran en las actividades cotidianas, sociales, profesionales, en las que el ritmo cardíaco se encuentra acelerado, la tensión arterial se eleva por encima de lo normal y existe hipertonia muscular. Estas manifestaciones se producen la mayor parte de las veces de manera inconsciente.

Tono o tensión musculares, consiste en cierto grado de contracción del músculo, incluso en reposo, que se opone al estiramiento del músculo, incluso en reposo, que se opone al estiramiento del músculo por la gravedad. Se genera por medio del reflejo miotático muscular, pero teniendo una importante modulación mesencefálica y cerebral.

El tono muscular se establece inicialmente a nivel medular a través del reflejo miotático, pero las motoneuronas alfas extensoras pueden activarse también por vías que proceden de la zona motora primaria o de los núcleos vestibulares, en especial del núcleo de Deiters. Por otra parte, las motoneuronas gamma extensoras, están tensando el huso muscular potencial del reflejo miotático, puede estimularse desde la zona motora primaria o de la porción del mesencéfalo lateral de la formación reticular (Guitart y Giménez-Crouselles, 2002).

El sistema nervioso central aprende a efectuar comprensiones mediante modificaciones en la fuerza, la longitud y la conducta funcional de los músculos, que hacen que se desarrollen adaptaciones compensatorias que dan lugar a patrones de uso habituales. Se produce entonces una biomecánica anormal, lo que implica una mala coordinación del movimiento y la alteración de la secuencia

normal de descarga de los músculos involucrados en movimientos particulares, lo que conlleva un esfuerzo adicional (Martínez, 2009).

### ***1.3.2- Oscilaciones involuntarias.***

Las oscilaciones son movimientos involuntarios que se presenta en un individuo, uno de los más frecuentes es el temblor, el temblor es definido como un movimiento rítmico (periódico) de una parte del cuerpo debido a la contracción simultánea o alternante de los músculos agonistas y antagonistas. Estos músculos siempre están combinados para poder lograr los movimientos del proceso de contracción y relajación de la muñeca (Medina, y cols., 2016).

Estos temblores pueden distinguirse en varios tipos de acuerdo con las bases de las condiciones que lo activan ya sea en reposo o actividad, así como su distribución topográfica hablando del brazo, manos, cabeza, también su amplitud (grueso o fino) y por último el número de repeticiones de ondas completas por segundo ya sea rápidos o lentos. Hablando del temblor fisiológico su frecuencia se encuentra relativamente elevada entre los 8 y los 12 Hz por segundos, a comparación de los patológicos que se encuentra entre un rango de 2 a 7 Hz, este temblor fisiológico irá disminuyendo con la edad, en adultos mayores de 60 años se encontrará entre los 6 a 7 Hz. Por otro lado, el temblor de acción se presenta durante periodos de fatiga muscular, ansiedad, estrés emocional, miedo o excitación.

De acuerdo con Ojeda y colaboradores (2009), el temblor puede clasificarse de acuerdo con su comportamiento por lo que tendremos 5 tipos de temblor

- Temblor en reposo: se presenta en una parte del cuerpo, la cual se encuentra apoyada en forma que no requiere activar el músculo esquelético.
- Temblor postural: se presenta al intentar sostener una parte del cuerpo contra la fuerza de gravedad sin realizar movimiento.
- Temblor cinético: es un movimiento involuntario.

- Temblor isométrico: se presenta durante una contracción muscular realizada contra un objeto rígido.
- Temblor de acción: se presenta durante cualquier contracción voluntaria de músculos esqueléticos.

## **I.4- Fatiga.**

### ***I.4.1- Fatiga muscular.***

La fatiga muscular se define como la incapacidad del músculo para mantener la fuerza o potencia esperada, lo que conlleva una disminución de la capacidad máxima de generación de la fuerza, esto quiere decir se hace la reducción transitoria y recuperable de la fuerza de contracción muscular que es producida al realizar una acción, por ejemplo, algún tipo de ejercicio. La fatiga muscular puede ser provocada por varios factores musculares locales, el sistema nervioso central y el estado físico del individuo (Wallmann, 2007; Laurent, 2010).

Se genera una fatiga muscular al tener una intensa acción en los músculos, con ello se genera una disminución progresiva del rendimiento que se recupera en gran medida después de un período de descanso. Por lo tanto, la fatiga muscular será cualquier disminución en el rendimiento muscular asociado con una actividad muscular, por todo esto se sabe que el rendimiento muscular va a cambiar durante la fatiga por lo tanto se ve reducida la velocidad y el curso normal de la relajación (Allen, y cols., 2008).

Como se mencionó la fatiga muscular es el fenómeno de la reducción del rendimiento de los músculos después de un factor estresante, está se caracteriza por la reducción de la potencia y el movimiento muscular, el cual afecta al deterioro de la coordinación, por lo que aumenta las posibilidades de errores y accidentes (Lal y Craig, 2001).

Durante este periodo de fatiga muscular las fibras sensoriales delgadas quimiosensibles de los grupos III y IV, son activadas por diferentes cambios, como lo son térmicos, metabólicos y mecánicos que ocurren en músculos activos, este proceso sera el origen periférico de la fatiga muscular. Por otro lado la integración

espinal y supraespinal genera el reflejo inhibitor lo que provoca modulaciones de las salidas mecánicas, todo esto sera el componente central de la fatiga muscular con respecto a la neurofisiología (Monjo, y cols., 2015).

Por lo que se mencionó anteriormente se puede llegar a la conclusion de que la fatiga muscular será producida por la repetición de contracciones musculares intensas, lo que genera cambios en los músculos activos.

#### ***1.4.2- ¿Cómo afecta la fatiga al control motor?***

Hay que recordar como menciona Monjo y colaboradores (2015) que la fatiga muscular puede actuar como una perturbación interna que es inevitable, en la vida diaria de los individuos. Cuando esto sucede tanto la columna vertebral y los niveles musculares se ven alterados en la transformación de la capacidad motriz que tienen los individuos para realizar cierta acción que los lleva a la fatiga muscular.

Se sabe que se puede provocar una modificación en la postura, a través de la fatiga muscular ya que el sistema neuromuscular es incapaz de mantener una tensión muscular constante, el cuerpo constantemente sufre deformaciones, esto quiere decir que ocurre modificaciones en el cuerpo cuando se encuentra en un estado de reposo lo que genera que no se mantenga en un estado de equilibrio, lo cual genera también modificaciones en los movimientos respiratorios sin embargo estos son débiles, todo esto se debe a que afecta al sistema regulador del control postural por sus efectos sobre la calidad y tratamiento de la información sensorial así como el control motor (Paillard, 2012).

Cuando el musculo esta estresado provocando una fatiga muscular las reservas de energía se agotan, por otro lado el ácido láctico y el dióxido de carbono aumentan y el tejido muscular se acidifica, esta fatiga afecta en el estado de alerta ya que altera la concentración mental y la motivación, como también contracciones musculares más débiles y lentas, temblor muscular y dolor localizado, disminución en la duración de los esfuerzos isométricos sostenidos y el tiempo de resistencia, todo esto afecta directamente al control motor de los individuos, generando

oscilaciones en los trazos de la escritura al momento de tener un estrés sobre los individuos (Lal y Craig, 2001).

Ahora bien, durante una tarea repetitiva se verán cambios en la biomecánica del movimiento con una mayor variabilidad cinemática en los movimientos de los sujetos mientras se encuentran fatigados, sin embargo, a pesar de esto se tendrá una estrategia adaptativa eficiente, ya que se mantuvo la estabilidad de los movimientos, por todo esto es que se ven cambios en la postura y los movimientos ya que con ello los individuos compensan los efectos de la fatiga (Monjo, y cols., 2015).

#### ***1.4.3- Fatiga cognoscitiva.***

La fatiga cognoscitiva se define como una disminución de los recursos cognitivos, por lo que provoca una alteración en los individuos para mantener la atención que se requiere para optimizar el desempeño en la acción realizada, sin embargo, la fatiga también es considerada como un estado adaptativo, el cual ayuda para mantener una gestión general eficaz de los objetivos, siempre y cuando no esté presente de manera repetitiva (Holtzer, y cols., 2011;Peigneux y Lorist, 2017;Hockey , 2011).

Cuando se tiene una demanda cognitiva durante largos períodos de tiempo se tiene un agotamiento y falta de energía lo que perjudica al rendimiento cognitivo, es cierto que este tipo de fatiga no siempre es vista como perjudicial para el rendimiento tanto mental como físico de los individuos, ya que también se asocia a la modulación de rasgos individuales para realizar cierta tarea como lo son la personalidad, interés y motivación, en este sentido la fatiga va a tener un costo-beneficio, entre más positivos sean los costos-beneficios de la acción, menor será la intensidad del esfuerzo mental percibido por el organismo, sin embargo cuando esto no es modulado por el organismo y se presenta de una manera constante se verá afectado a través del rendimiento en la tarea a lo largo del tiempo (Borrogán, y cols., 2017).

#### ***1.4.4- ¿Cómo afecta la fatiga al control motor?***

A través de la fatiga cognitiva se verá afectado el control motor ya que se presenta una disminución en el rendimiento de los individuos después de un esfuerzo prolongado, mental y físico desafiante, de igual manera mental agudo pero sostenido, este tipo de fatiga desafiante y de igual manera mental agudo pero sostenido, este tipo de fatiga afecta el tiempo de reacción en situaciones inesperadas de los individuos (Holtzer, y cols., 211; Jahanpour, y cols.,2020).

El control motor se vería afectado en cuanto al rendimiento físico, sin embargo, no todas las actividades físicas se ven afectadas negativamente por la fatiga cognitiva, se verán afectaciones en cuanto al rendimiento de resistencia, toma de decisiones y habilidades motoras, la fuerza-potencia voluntaria no se afectará (Jacquet, y cols., 2021).

#### **1.5- Habitación.**

La habitación se definida como un decremento en la respuesta a un estímulo que se presenta repetidamente, esto ocurre más rápidamente cuando, los estímulos se presentan en una baja intensidad, de igual manera cuando los organismos están expuestos a los estímulos en un periodo de tiempo prolongado y por último cuando la exposición a estos estímulos repetidos no ocurre estímulos diferentes que produzcan desh Habitación o sensibilización (Delgado, y cols., 2013).

En la habitación la disminución en la respuesta es generalmente una función exponencial negativa al número de presentaciones del estímulo (Thompson, 2001).

El fenómeno de habitación se puede explicar por dos familias de teorías, por un lado, están aquellas que se enfocan en la habitación como un fenómeno de aprendizaje no asociativo en el cual la disminución en la eficiencia sináptica depende de la repetición de estímulos, las otras teorías plantean que la habitación depende de una asociación entre el estímulo y algún otro evento. Esta última teoría, nos dice que la disminución persistente que se observa en la

respuesta de un estímulo prolongado es el resultado de la asociación entre el contexto y el estímulo (Becerra, y cols., 2019).

En el proceso de habituación es fundamental la atención selectiva, la habituación de igual manera puede ocurrir ante estímulos amenazantes y tóxicos en los animales, por lo que se reconoce como un “proceso para liberar recursos neuronales limitados al permitir que los organismos ignoren estímulos irrelevantes” (Ardiel, y cols., 2017).

Alonso y colaboradores (2005) menciona que el género femenino está más motivadas al realizar las tareas, provocando un mayor desarrollo de la motricidad fina, por lo tanto, la escritura estará más desarrollada en este género debido a que las mujeres tienen una precocidad por lo que están más adelantadas que los hombres, por lo que tienen una habituación más rápida en la escritura a comparación de masculino.

## CAPÍTULO II.- ESTUDIO DE CAMPO

### II.1.- Antecedentes.

Con respecto a este trabajo no se encuentran investigaciones realizadas con oscilaciones motoras con respecto de un trazo “perfecto” sin oscilaciones, durante el trazo de figuras geométricas generadas a través de un estresor, sin embargo, se pueden encontrar investigaciones como la realizada por Anchatipán (2018), en el cual se obtuvo una “n” total de 232 niños de cuarto y quinto de primaria. En este estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- En niños de 4° y 5° de primaria se encuentran errores específicos en la escritura, grafismo y dificultades en la estructuración de la escritura.
- Los errores específicos en la escritura son: omisiones con el 79%, uniones con el 57%, y sustituciones con el 28%.
- Los errores de ortografía arbitraria más evidentes son: cambios consonánticos con el 85%, acentuación con el 67% y puntuación con el 48%.



- Durante el grafismo se presentan errores en: líneas anómalas con el 29%, curvas con el 64%, trazos verticales 47% e interlineado con el 38%.
- En la estructuración de la escritura se presentan de 0 a 2 errores equivalente a 0 errores con un 28%, 1 error con el 52% y 2 errores con el 66% datos que ubican a la población investigada dentro de los parámetros normales en la estructuración.

Una investigación realizada por: Sarah Palmis y colaboradores (2017) de la revista Cognitive Neuropsychology consistió en escribir en letra cursiva con una línea punteada por debajo y con ello poder ver las oscilaciones que se generaban al escribir sobre la línea. Se dieron a conocer las siguientes conclusiones:

- Se verán cambios en la escritura en las edades de 7 y 10 años, presentando más oscilaciones en la escritura a una edad más temprana.
- Se cree que las oscilaciones disminuyen conforme avanza la edad debido a la integración progresiva en la memoria motora a largo plazo.
- La escritura a mano se puede producir de forma automática a nivel cerebral, es probable que esto induzca una reorganización masiva, tanto a nivel funcional como estructural.

Otra investigación realizada por: Josefa Contreras del Centro de Grafología Sandra Cerro 16 con el tema: "Modificaciones involuntarias de la escritura a causa de factores exógenos" (2010), en donde se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Escritura a diferente velocidad: mientras más aumenta la velocidad se vuelve más ilegible y grande la letra.
- Escritura en diferentes tipos de soporte: un soporte duro favorece más al trazo que una más blando.
- Escritura con diferentes útiles: los útiles gruesos provocan que la velocidad del escrito sea más lenta, el bolígrafo punta fina estiliza más el trazo, el plumín hace que el trazo sea más hacia la derecha, pero ralentiza la velocidad.

- Escribiente en diferentes posturas: de pie el tamaño de la letra aumenta y la presión del escrito se debilita y boca arriba se observan rasgos de debilidad en la presión.
- Escribiente bajo efecto de movimientos involuntarios (cosquillas): los trazos son ilegibles, la escritura es más extendida y tendencia a simplificar los trazos.
- Escribiente con mano guiada: se presenta una resistencia en la mano, los trazos son ilegibles.
- Escribiente con los músculos tensionados: se presentan oscilaciones en los trazos, los trazos son rígidos.
- Escribiente a oscuras: variaciones en la dirección del renglón, aumento de tamaño y se empalman los trazos.
- Escritura ejecutada con la mano no adiestrada: ilegibilidad en los trazos, tamaños irregulares y temblores.

Otro de los estudios es realizado por: Diana Prue y colaboradores (2010), en el cual se evaluó la influencia del estrés en los exámenes escritos en estudiantes, tanto hombres como mujeres entre 18 a 21 años, en donde participaron 67 estudiantes universitarios de 18 a 21 años (33 hombres y 34 mujeres), se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Un mayor número de exámenes y plazos se asociaron con aumentos en todas las medidas de estrés.
- Hay una mayor reactividad del cortisol en los hombres.
- No se encontraron correlaciones significativas entre las elevaciones en el cortisol y las elevaciones en las medidas de estrés psicológico.
- Los hombres pueden tener menos conciencia subjetiva de sus estados internos que las mujeres.

## ***II.2- Planteamiento del problema.***

El estrés es un problema que afecta a todos los individuos en alguna etapa de su vida, como es en la vida escolar, los estudiantes se encuentran en un estado de

estrés continuo, por lo que es importante saber si un estresor puede ayudar o empeorar el rendimiento académico de estos, ya que esto puede perjudicar al rendimiento escolar de los estudiantes, como también en otros aspectos de su vida cotidiana.

### ***II.3.- Justificación.***

La finalidad de este estudio es identificar la incidencia de oscilaciones motoras involuntarias generadas por estrés muscular y cognitivo en tres grupos de edad, mediante el análisis de la distribución de los pixeles generados durante el trazo de figuras geométricas, y con ello el impacto negativo o positivo que tiene en los individuos un estresor, en una de las tareas utilizadas en la vida cotidiana de los estudiantes como es la escritura.

### **II.4.- Objetivos.**

#### ***II.4.1- objetivo general:***

- Cuantificar la incidencia de oscilaciones motoras involuntarios generadas por estrés muscular y cognitivo en tres grupos de edad, mediante el análisis de la distribución de los pixeles generados durante el trazo de figuras geométricas.

#### ***II.4.2.- objetivos específicos:***

- Identificar mediante la distribución de pixeles el efecto de estresores cognitivos, motores y por tensión muscular sobre el control motor del trazo de un cuadro en tres grupos de edad.

## II.5.- Metodología.

El estudio se realizó en sujetos del estado de Puebla a partir de 6 años en adelante, teniendo una "n=36". De los cuales se dividieron en las 3 categorías siguientes:

1. 6- 12 años.
2. 13-29 años.
3. 30 años en adelante.

Para cada categoría obtuvimos una n=12, en las cuales tomamos 3 muestras con 10 repeticiones cada una.

Al inicio de cada muestra le pedimos al sujeto dibujar 5 figuras geométricas (5 cuadrados) tomándola como la prueba control de cada sujeto. Para después empezar con las tomas de muestras. Todas las figuras geométricas fueron dibujadas en el programa Graphixy, con la ayuda de una tableta y pluma digital marca Wacom modelo CTL472.

La primera toma de muestra consistió en pedirle al sujeto armar un cubo de Rubik en 1.30 minutos (estrés cognitivo), para la segunda muestra el sujeto fue sometido a estar en una postura incómoda (hombros encogidos y hacia atrás, con la espalda recta) por 1.30 minutos (estrés motor), por último, le pedimos al sujeto trazar 3 figuras en un espirógrafo en 1.30 minutos (estrés por tensión muscular). Estas pruebas fueron tomadas como el estresor para cada sujeto correspondiente.

Posteriormente les pedimos a los sujetos volver a trazar las mismas 5 figuras geométricas del inicio, tomando estas como la prueba por estrés.

Una vez teniendo las figuras trazadas por los sujetos en el programa Ghaphixy fueron guardadas, posteriormente estas imágenes fueron importadas al programa Matlab en donde primero se cargaron todas las imágenes de las figuras por separado.

Para el cuadrado se utilizó con un comando de programación, se exportaron las imágenes tanto del grupo control y estrés, posteriormente utilizamos otro comando el cual se encargó de la comparación de la distribución de los pixeles como se muestra en la figura 9, de los trazos vertical izquierdo y derecho del cuadrado, esto nos generó los valores “p” de las figuras los cuales fueron guardados en un Excel, por último, utilizamos otro comando para sacar las gráficas de las distribuciones de los pixeles de ambos lados. Para la determinación de la distribución de los pixeles utilizamos el análisis estadístico de kolmogorov-smirnov en el cual se puede observar si hay diferencias entre dos distribuciones de probabilidad, ya que esta prueba es un análisis no paramétrico el cual va a tener como objetivo determinar si la frecuencia de dos conjuntos de datos distintos sigue la misma distribución alrededor de su media (Berger & Zhou, 2014).

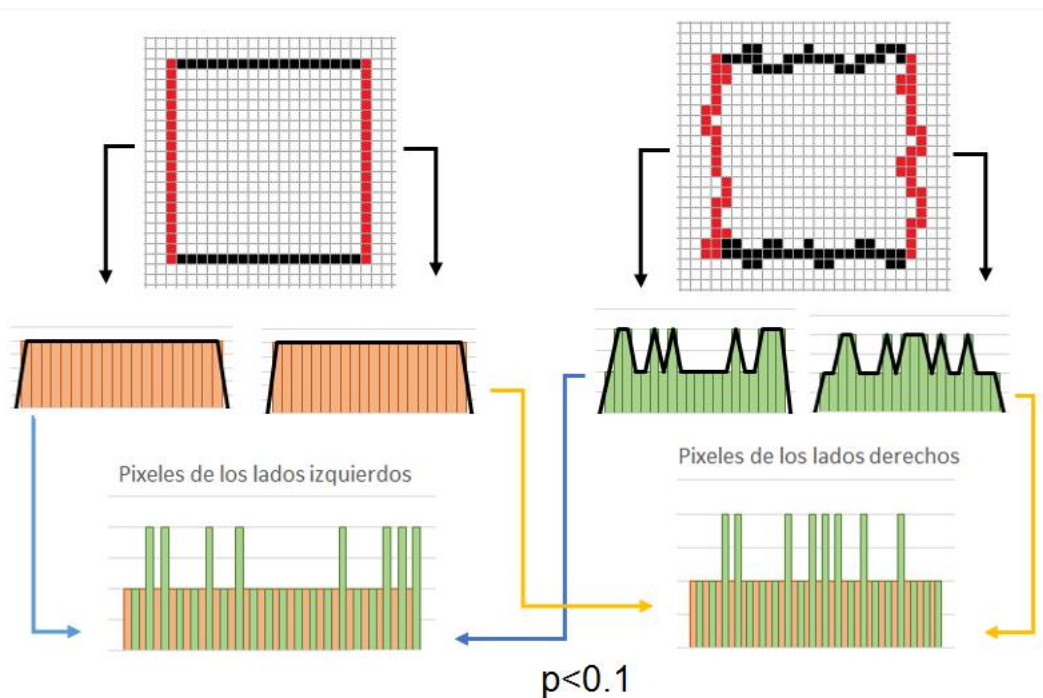


Figura 9. Representación de la obtención de los valores p. Se muestran como son interpretados los datos en el programa de Matlab para poder generar las gráficas de la distribución de los pixeles del lado izquierdo y derecho del cuadrado.

# CAPÍTULO III.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

## III.1.- Resultados.

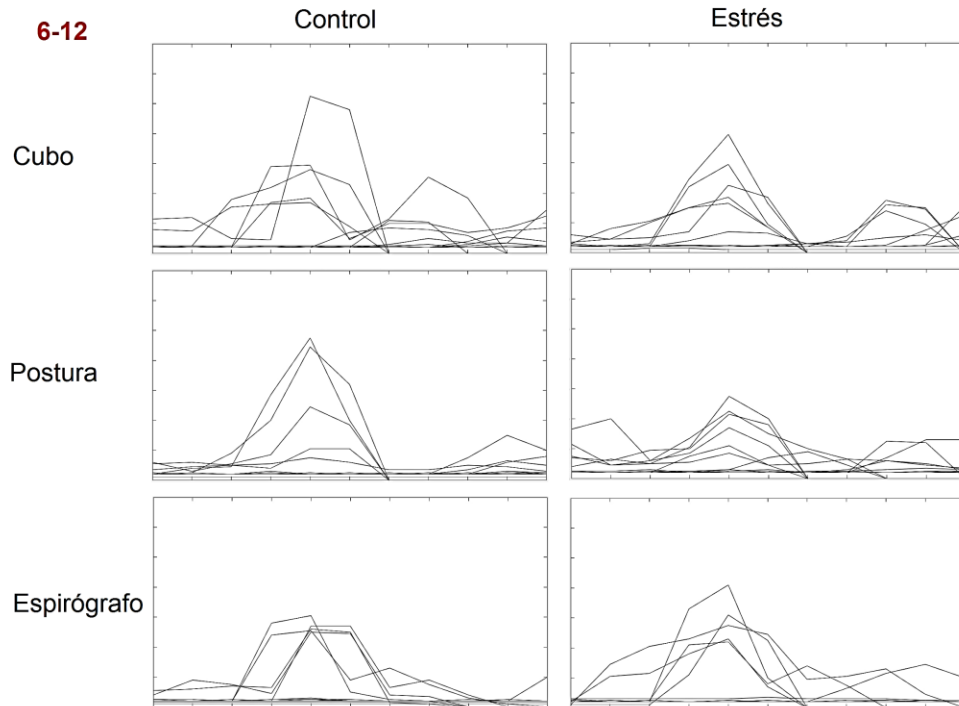


Figura 10. Comparación entre la distribución de pixeles de los trazos de los cuadrados en los 12 sujetos del primer grupo de 6 a 12 años, simultáneamente se muestra la distribución de pixeles del lado derecho de la figura control y post estrés del cubo, postura y espirógrafo en donde en los 3 casos se tiene una  $p < 0.1$ .

Tabla 1. Valores P del lado derecho y el tiempo en el grupo de 6 a 12 años.

| Estrés cognitivo | Tiempo cntrl/estrés |     | Estrés motor | Tiempo cntrl/estrés |    | Estrés por tensión muscular | Tiempo cntrl/estrés |     |
|------------------|---------------------|-----|--------------|---------------------|----|-----------------------------|---------------------|-----|
|                  |                     |     |              |                     |    |                             |                     |     |
| 0.0121           | 107                 | 187 | 0.0000066012 | 83                  | 75 | 0.0000066012                | 178                 | 165 |
| 0.000428         | 72                  | 87  | 0.0468       | 93                  | 83 | 0.0000066012                | 128                 | 100 |
|                  |                     |     | 0.0025       | 136                 | 85 | 0.0468                      | 130                 | 102 |

En la figura 10 se pueden observar los trazos de los cuadrados de 12 sujetos en control y post estrés, en donde vamos a tener representados los estresores a través del cubo de Rubik un estrés cognitivo, la postura un estrés motor y en el espirógrafo un estrés por medio de la tensión muscular, encontramos diferencias significativas en los 3 estresores con una  $p < 0.1$  como se puede ver en la tabla 1.

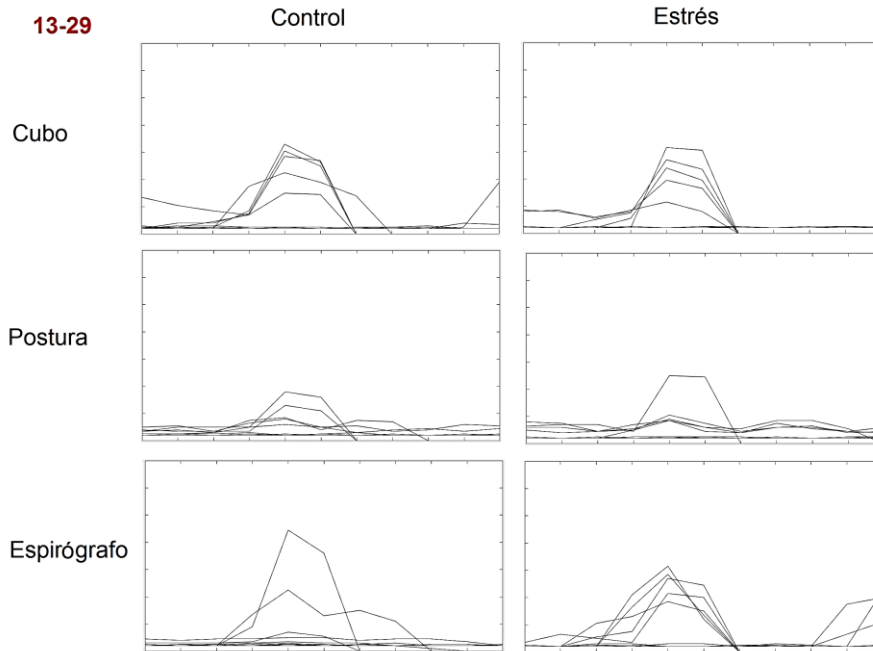


Figura 11. Comparación entre la distribución de pixeles de los trazos de los cuadrados en los 12 sujetos del segundo grupo de 13 a 29 años, simultáneamente se muestra la distribución de pixeles del lado derecho de la figura control y post estrés del cubo, postura y espirógrafo en donde en los casos del cubo y el espirógrafo se tiene una  $p < 0.1$ .

Tabla 2. Valores P del lado derecho y el tiempo en el grupo de 13 a 29 años.

| Estrés cognitivo | Tiempo cntrl/estrés |     | Estrés por tensión muscular | Tiempo cntrl/estrés |     |
|------------------|---------------------|-----|-----------------------------|---------------------|-----|
|                  | 67                  | 194 |                             | 158                 | 109 |
| 0.0121           | 67                  | 194 | 0.0121                      | 158                 | 109 |

En la figura 11 se pueden observar los trazos de los cuadrados de 12 sujetos en control y post estrés, en donde vamos a tener representados los estresores a través del cubo de Rubik un estrés cognitivo, la postura un estrés motor y en el espirógrafo un estrés por medio de la tensión muscular, encontramos diferencias

significativas en el estresor cognitivo y de tensión muscular con una  $p < 0.1$  como se puede ver en la tabla 2.

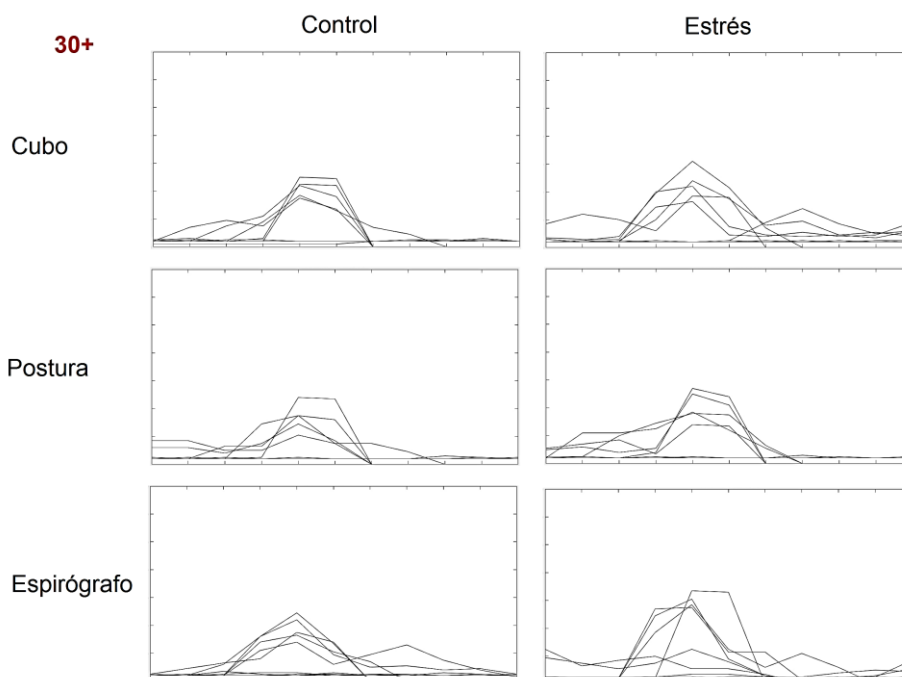


Figura 12. Comparación entre la distribución de pixeles de los trazos de los cuadrados en los 12 sujetos del tercer grupo de 30 años en adelante, simultáneamente se muestra la distribución de pixeles del lado derecho de la figura control y post estrés del cubo, postura y espirógrafo en donde en los 3 casos se tiene una  $p < 0.1$ .

En la figura 12 se pueden observar los trazos de los cuadrados de 12 sujetos en control y post estrés, en donde vamos a tener representados los estresores a través del cubo de Rubik un estrés cognitivo, la postura un estrés motor y en el espirógrafo un estrés por medio de la tensión muscular, encontramos diferencias significativas en los 3 estresores con una  $p < 0.1$  como se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Valores P del lado derecho y el tiempo en el grupo de 30 años en adelante.

| Estrés cognitivo | Tiempo cntrl/estrés |     | Estrés motor | Tiempo cntrl/estrés |     | Estrés por tensión muscular | Tiempo cntrl/estrés |    |
|------------------|---------------------|-----|--------------|---------------------|-----|-----------------------------|---------------------|----|
| 0.000059012      | 93                  | 140 | 0.000059012  | 117                 | 115 | 0.0000066012                | 180                 | 97 |
| 0.0025           | 128                 | 295 |              |                     |     |                             |                     |    |



## CAPÍTULO IV.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### IV.1.- Conclusión.

En cuanto a la distribución de los pixeles en el trazo del cuadrado en el estado de estrés y control dentro del grupo de 6 a 12 años en un estrés cognitivo, motor y de tensión muscular, encontramos diferencias significativas en el trazo del lado izquierdo con una  $p < 0.1$  como se muestra en la tabla 4.

En el caso del grupo de los sujetos de 13 a 29 años, encontramos diferencias significativas en la distribución de los pixeles en el trazo del cuadrado del lado izquierdo, solamente en el estado de estrés cognitivo y de tensión muscular con un valor de  $p < 0.1$  como se muestra en la tabla 4.

Para el grupo de los sujetos de 30 años en adelante, encontramos diferencias significativas en los tres grupos de estrés (cognitivo, motor y tensión muscular) para el trazo del lado izquierdo del cuadrado, con un valor de  $p < 0.1$  como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Valores P del lado izquierdo del cuadrado.

| Grupo   | Categoría        | P del lado derecho |
|---------|------------------|--------------------|
| 6 a 12  | Cognitivo        | 0.0121             |
| 6 a 12  | Cognitivo        | 0.00042821         |
| 6 a 12  | Motor            | 0.0000066012       |
| 6 a 12  | Motor            | 0.0468             |
| 6 a 12  | Motor            | 0.0025             |
| 6 a 12  | Tensión muscular | 0.0000066012       |
| 6 a 12  | Tensión muscular | 0.0000066012       |
| 6 a 12  | Tensión muscular | 0.0468             |
| 13 a 29 | Cognitivo        | 0.0121             |
| 13 a 29 | Tensión muscular | 0.0121             |
| 30+     | Cognitivo        | 0.000059012        |
| 30+     | Cognitivo        | 0.0025             |
| 30+     | Motor            | 0.000059012        |
| 30+     | Tensión muscular | 0.0000066012       |

Encontramos una disminución en el tiempo en el estrés motor y tensión muscular, mientras un aumento del tiempo en el estrés cognitivo en los sujetos como se muestra en la tabla 5, encontramos una diferencia significativa entre el trazo del control y estrés de los sujetos.

Tabla 5. Tiempo del control y estrés de los 9 sujetos aleatorios.

| Grupo   | Categoría        | Tiempo control | Tiempo estrés |
|---------|------------------|----------------|---------------|
| 6 a 12  | Cognitivo        | 107            | 187           |
| 6 a 12  | Cognitivo        | 72             | 87            |
| 6 a 12  | Motor            | 83             | 75            |
| 6 a 12  | Motor            | 93             | 83            |
| 6 a 12  | Motor            | 136            | 85            |
| 6 a 12  | Tensión muscular | 178            | 165           |
| 6 a 12  | Tensión muscular | 128            | 100           |
| 6 a 12  | Tensión muscular | 130            | 102           |
| 13 a 29 | Cognitivo        | 67             | 194           |
| 13 a 29 | Tensión muscular | 158            | 109           |
| 30+     | Cognitivo        | 93             | 140           |
| 30+     | Cognitivo        | 128            | 295           |
| 30+     | Motor            | 117            | 115           |
| 30+     | Tensión muscular | 180            | 97            |

## IV.2.- Discusión.

Los trazos fueron solicitados siguiendo un movimiento antihorario, independientemente de la lateralidad manual.

En todos los grupos de las diferentes edades, el trazo derecho mostró variaciones entre control y estrés.

Los trazos derechos corresponden a un movimiento flexor (activación de músculos flexores de la muñeca y codo).

Esto es consistente con la observación que aunque parezca que no hay diferencias entre los músculos flexores y extensores de la muñeca, los músculos flexores son más grandes que los extensores y también generan mayor tensión (mayor área transversal) (Lieber, y cols., 1990).

Es posible que el control motor no sólo se vea afectado por efectos de lesiones cerebrales, si no también por elementos externos que distraen la atención de las tareas motoras, mientras que pueden aparecer antes o durante una ejecución motora (Cole y Shields, 2019).

Observamos que un estresor muscular genera una modificación significativa en el control del trazo vertical al igual que un estresor de tipo cognitivo.

Como mencionan en sus trabajos Monjon y colaboradores (2015) y Borrogón y colaboradores (2017), tanto el estrés muscular y cognitivo generan modificaciones en el control motor de los individuos, sin embargo podemos notar en nuestros resultados que los estresores no fueron muy fuertes ni constantes para generar un cambio tan drástico que los perjudicara, por lo que un estresor a menor cantidad los ayudo a realizar la tarea de manera correcta.

Aiken y colaboradores (2015) mencionan que el estrés muscular mejora el tiempo de respuesta de los individuos ya que aumenta su activación, mientras que el estrés cognitivo dificulta el tiempo de respuesta provocando una disminución en esta, esto explica el cambio en el tiempo en ambos estresores de los sujetos, por lo que inferimos que un estresor cognitivo a baja intensidad que sería el espirógrafo y un estrés motor mejorará el rendimiento de los individuos.

También nos mencionan que ambos estresores aumenta la rigidez de las extremidades lo que conlleva a un aumento en la presión del lápiz, principalmente en los lados verticales derecho e izquierdo del cuadrado por lo que en estos trazos de ven más distribuciones en los pixeles que en los lados horizontales, y por ellos se están analizando estos lados del cuadrado, por lo que vemos en los resultados diferencias en cuanto al tiempo de ejecución, en donde el estrés va afectar la duración del trazo en el cuadrado.

En el análisis de los grupos de 13 años en adelante notamos la reducción en la variabilidad de los trazos, lo cual es consistente con lo descrito por Kraus y colaboradores (2000), en donde los autores describen que a partir de los 13 años existen mecanismos compensatorios para reproducir la cantidad de errores en la

ejecución de movimientos de las manos. Mecanismos tales como la experiencia de la escritura o resistencia a el estrés cognitivo. Dicho estudio nos muestra la cantidad de errores para edades tempranas, sin embargo, con los resultados en nuestro estudio podríamos sugerir que existe mayor cantidad de errores en las ejecuciones motoras.

Sabemos que el proceso de escritura mejora con respecto al tiempo y a la práctica, como menciona Thompson (2001) la habituación es un proceso por el cual se ira mejorando o acostumbrando el individuo si este es de manera repetitiva, como en el caso de la escritura, por lo que podemos notarlo en nuestro resultados ya que se tiene una distribución en el grupo de 6 a 12 años donde apenas se está generando esta habituación, mientras que en los 2 grupos siguientes ya no se presenta tan constante, ya que durante la practica a través del tiempo se generó una habituación lo que no genero distribuciones significativas en los trazos.

El buen funcionamiento de la escritura va a ser gracias a la integración neuromuscular y de una coordinación visomotora, como menciona Montalan (2014).

De igual manera como menciona Quintanal-Díaz (2011) la escritura ejercer un efecto llamado presión anatómica lo que permite ejercer la escritura, esto se puede observar en nuestros resultados, ya que se ve que los adolescentes y adultos tienen un mejor manejo de esta presión anatómica utilizada para el agarre de la pluma a comparación de los niños por lo que se ven mas oscilaciones provocando el aumento de las distribución de los pixeles en el trazo del cuadrado en los niños.

Esto implica que los adolescentes y adultos tiene más desarrollada la motricidad fina, como se ve en nuestro resultados, ya que estos se ve un decremento en las diferencias significativas en el trazo del cuadrado, Panduro y Morales (2018) mencionan que esta motricidad empieza a desarrollarse al año y medio trazando garabatos y rayas, mientras que a los 3 años de edad ya hay trazos más finos y esto se irán perfeccionando a través del tiempo y la práctica, de igual manera se

pueden observar en los resultados que los sujetos con valores cercanos al 1 con respecto al valor de P se tiene desarrollada su motricidad fina ya sea por su ocupación o pasatiempo, como es el caso del sujeto dedicado a mecánica de aviación naval ya que este por sus prácticas tanto de tiro y el ejercicio que lleva día con día posee estos valores, por último el sujeto con ocupación en lic. En arquitectura, ya que el pulso que requiere al dibujar los planos, como también el tiempo que pasa en la computadora por lo mismo utilizando el teclado y el mouse al mismo tiempo, tiene un mejor manejo de sus músculos por lo que tiene los valores cercanos a 1, con esto podemos inferir que por las actividades realizadas de estos individuos se tiene un mejor manejo de sus músculos y por lo tanto una mejor motricidad fina por lo que van a tener estos valores muy cercanos a 1.

Adicionalmente, Babinsky y colaboradores (2012), reportan resultados en un experimento de alcanzar un objetivo, donde comparan un grupo infantil y un grupo adulto; concluyen que el grupo infantil toma más tiempo para realizar dicha tarea en parte por la misma naturaleza del movimiento extensor y también por la aparición de movimientos aleatorios durante la ejecución de la tarea. Esto podría explicarse por qué observamos mayor dispersión en los trazos de los sujetos infantiles.

### **Trabajo a futuro:**

- Podríamos incluir registros electromiográficos para describir si surgen oscilaciones motoras y en qué frecuencias emergen.
- Explorar otros tipos de estresores, como apetito, ansiedad o estrés postraumático.
- Evaluar un rango más amplio de la población incluyendo un grupo más grande de adultos mayores.
- Explorar si hay diferencias en la respuesta a un estrés con respecto al género.
- Analizar las frecuencias con un EMG para poder tener un análisis en cuanto al comportamiento de los músculos en la escritura al estar en contacto con un estresor.

- Profundizar más en la comparación del estrés cognitivo y motor con un estresor más fuerte y uno más débil, para tener un conocimiento más claro de estos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrines-Muñoz, & Loreto, M. (2020). La instrucción del movimiento durante actividades de copia con escritores y escritoras principiantes. *Redalyc*, 24(2).

Aiken, C. A., Odom, S. B., & A Van Germert, A. W. (2015). Stress and Motor Learning: Does the Presentation of Physical or Cognitive Stress Influence Motor Skill Acquisition? *ResearchGate*.

Allen, D., Cordero, D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms. *Physiological review*, 88(1), 287-332. doi:10.1152/physrev.00015.2007.

Alonso Martín, P., & Juidías Barroso, J. (2005). Estudio descriptivo de la disgrafía en niños de 2º a 4º de primaria. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 3(1), 23-38. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3498/349832310002.pdf>

Alstermark, B., & Ekerot, C. F. (2013). The lateral reticular nucleus: a precerebellar centre providing the cerebellum with overview and integration of motor functions at systems level. A new hypothesis. *The Journal of physiology*, 591(22), 5453-5458.

Ardiel, E. L., Yu, A. J., Giles, A. C., & Rankin, C. H. (2017). Habituation as an adaptive shift in response strategy mediated by neuropeptides. *npj Science of Learn*, 2(9). doi:10.1038/s41539-017-0011-8

Babinsky, E., Braddick, O., & Atkinson, J. (2012). Infants and adults reaching in the dark. *Springer*, 217, 237-249. doi: 10.1007/s00221-011-2984-5

- Becerra Cespedes, S. A., & Pinto Pinto, J. A. (Diciembre de 2019). Control contextual en la habituación: Disminución y potenciación de la respuesta de sobresalto en humanos. *Dialnet*, 11(3), 10-18. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7286640>
- Benhow, M., M.S., & OTR. (2016). Understanding the Hand from the Inside-Out Developmental Activities Based on Hand Anatomy. *Conference Neurokinesthetic Approach to Hand Function & Handwriting* (págs. 1-17). Clinician's view.
- Berger, V. W., & Zhou, Y. Y. (2014). Kolmogorov–Smirnov Test: Overview. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 1, 1-5. doi:10.1002/9781118445112.stat06558
- Bigland, R., & Woods, J. J. (1984). Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle & Nerve*, 7(9), 691-699. doi:10.1002/mus.880070902
- Borrogan, G., Salma, H., Destrebecqz, A., & Peigneux, P. (2016). Cognitive fatigue facilitates procedural sequence learning. *Frontiers in human neuroscience*, 10.
- Borrogán, G., Slama, H., Bartolomei, M., & Peigneux, P. (2017). Cognitive fatigue: A Time-based Resource-sharing account. *Cortex*, 89, 71-84. doi:doi.org/10.1016/j.cortex.2017.01.023
- Bosch-Bouju, C., Hyland, B. I., & Parr-Brownline, L. C. (2013). Motor thalamus integration of cortical, cerebellar and basal ganglia information: implications for normal and parkinsonian conditions. *Front. Comput. Neuroscience*, 7(163), 1-21. doi:doi.org/10.3389/fncom.2013.00163
- Brand, P. W., C.S, F. R., Beach, M. A., & Thompson, D. E. (1981). Relative tension and potential excursion of muscles in the forearm and hand. *The Journal of Hand Surgery*, 6(3), 209-219. doi:10.1016/S0363-5023(81)80072-X

- Brinkman, J., & Kuypers, H. J. (1972). Splitbrain monkeys: cerebral control of ipsilateral and contralateral arm, hand, and finger movements. *Science*, 176, 536-539. doi:10.1126/ciencia.176.4034.536
- Burke, R. E. (1978). Motor Units: Physiological/Histochemical Profiles, Neural Connectivity and Functional Specializations. *AMER.ZOOL*, 18(1), 127-134.
- Burr, P., & Choudhury, P. (2021). Fine Motor Disability. *StatPearls*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563266/>
- Cabrera Valdés, B. C., & Dupeyrón García, M. N. (2019). El desarrollo de la motricidad en los niños y niñas del grado preescolar. *Scielo*, 17(2), 222-239. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/men/v17n2/1815-7696-men-17-02-222.pdf>
- Caccia, M. A., McComas, A. J., Upton, A. R., & Blogg, T. (1973). Cutaneous reflexes in small muscles of the hand. *ournal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 36(6), 960-977. doi:10.1136/jnnp.36.6.960
- Calvillo del Pino, M. A. (2014). Lateralidad, esquema corporal y escritura: un estudio comparativo en educación infantil. Obtenido de [https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/3025/MariaAraceli\\_Calvillo\\_delPino.pdf?sequence=1](https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/3025/MariaAraceli_Calvillo_delPino.pdf?sequence=1)
- Capdevila, N., & Segundo, M. J. (2005). Estrés: causas, tipos y estrategias nutricionales. *ELSEVIER*, 24(8), 96-104. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-estres-13078580>
- Cárdenas, D., Conde-González, J., & Perales, J. C. (2017). La fatiga como estado motivacional subjetivo. *evista Andaluza de Medicina del Deporte*, 10(1), 31-41.
- Cetin, N., Bayramoglu, M., Aytar, A., Surenkok, O., & Yemisc, O. U. (2008). Effects of Lower-Extremity and Trunk Muscle Fatigue on Balance. *The Open Sports Medicine Journal*, 2, 16-22.



- Chaput, S., & Proteau, L. (1996). Aging and Motor Control. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 51(6), P346–P355. doi:10.1093/geronb/51B.6.P346
- Clamann, H. P. (1981). Motor Units and Their Activity during Movement. *Springer*. doi:10.1007/978-1-4684-3884-0\_2
- Cole, K. R., & Shields, R. K. (2019). Age and Cognitive Stress Influences Motor Skill Acquisition, Consolidation, and Dual-Task Effect in Humans. *Journal of Motor Behavior*, 51(6), 622-639. doi:10.1080/00222895.2018.1547893
- Daneri, F. (2012). Biología del comportamiento: Psicobiología del estrés. *Scielo*, 2(3).
- De- Juanas Oliva, Á. (2014). Patrones motores y procesos de adquisición de la lecto-escritura en la etapa de educación primaria. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 6(1), 321-326.
- De Luca, C. J. (1984). Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 11(4), 251-279.
- Delgado, D., Medina, I. F., & Rozo, M. J. (Julio de 2013). Evaluación de la habituación a las condiciones estimulativas del procedimiento de igualación a la muestra. *Scielo*, 20(1), 15-29. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/sumps/v20n1/v20n1a02.pdf>
- Deng, L., Nigel, J., Smith, P., & Maksym, G. (2004). Localized mechanical stress induces time-dependent actin cytoskeletal remodeling and stiffening in cultured airway smooth muscle cells. *the American Physiological Society*, 287(2), 440-448. doi: 10.1152/ajpcell.00374.2003
- Díaz Argente, C. (2016). El estrés y su relación con las patologías físicas de los instrumentistas de viento-metal. *AV Notas*, 1, 38-51.
- Doherty, T. J., Vandervoort, A. A., & Bown, W. F. (1993). Effects of Ageing on the Motor Unit: A Brief Review. *Canadian Journal of Applied Physiology*. doi:10.1139/h93-029

- Ferrucho Sánchez, C. (2014). *Motricidad en la relación con los procesos lectores-escritores de tercero de primaria. Tesis (licenciatura)*. Obtenido de reunir.unir.net:  
<https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/2391/ferrucho%20sanchez.pdf?sequence=1>
- Forro, S., Munjal, A., & Lowe JB, A. (2021). Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Arm Structure and Function. *StatPearls*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507841/>
- Foysal, R., Carvalho, F., & Baker, S. N. (2016). Spike Timing-Dependent Plasticity in the Long-Latency Stretch Reflex Following Paired Stimulation from a Wearable Electronic Device. *The Journal of Neuroscience*, 36(42), 10823-10830.
- Fridén, J., & Lieber, R. L. (1996). Muscle Architecture Basis for Neuromuscular Control of the Forearm and Hand. *The Neurophysiology and Psychology of Hand Movements*, 69-79. doi:10.1016/B978-012759440-8/50007-4
- Grobe, S., Kakar, R. S., Smith, M. L., Metha, R., Baghurst, T., & Boolani, A. (2017). Impact of cognitive fatigue on gait and sway among older adults. *Preventive medicine reports*, 6, 88-93.
- Guitart, J., & Giménez-Crouselles, J. (2002). Prevalencia de la tensión muscular elevada, evaluada con un método semiobjetivo, y estudio de factores asociados a la misma en una población reumatológica. *Revista sedolor*, 9(1), 19-26. Obtenido de [http://revista.sedolor.es/pdf/2002\\_01\\_02.pdf](http://revista.sedolor.es/pdf/2002_01_02.pdf)
- Heckman, C. J., & Enoka, R. (2012). Motor Unit. *Comprehensive Physiology*, 2(4), 2629-2682. doi:10.1002/cphy.c100087
- Hockey, G. (2011). A motivational control theory of cognitive fatigue. *American Psychological Association*, 167-187. doi:doi.org/10.1037/12343-008
- Holtzer, R., Shuman, M., Mahoney, J. R., Lipton, R., & Verghese, J. (2011). Cognitive Fatigue Defined in the Context of Attention Networks.

*Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn.*, 18(1), 108-128.  
doi:10.1080/13825585.2010.517826

Huamán Prado, I., & Núñez Cuadro, A. P. (2017). La motricidad fina como estrategia para fortalecer la preescritura en niños de 4 años de la Institución Educativa Inicial n.º 431 “Manuel la Serna”. Obtenido de [http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/2614/TESIS%20EI36\\_Hua.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/2614/TESIS%20EI36_Hua.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Jacobson, M. D., Raab, R., Fazeli, B. M., Abrams, R. A., Botte, M. J., & Lieber, R. L. (1992). Architectural design of the human intrinsic hand muscle. *The Journal of hand surgery*, 17(5), 804-809.

Jacquet, T., Poulin-Charronnat, B., Bard, P., & Lepers, R. (2021). Persistence of Mental Fatigue on Motor Control. *Frontiers in Psychology*. doi:10.3389/fpsyg.2020.588253

Jahanpour, E., Berberian, B., Imbert, J. P., & Roy, R. (2020). Cognitive fatigue assessment in operational settings: a review and UAS implications. *HAL open science*, 330-337. doi:10.1016/j.ifacol.2021.04.188

Jakobi, J. M., Kohn, S., Kuzyk, S., & Fedorov, A. (2017). When Kicking the Doctor Is Good—A Simple Reflex. *Neuroscience*, 5(10), 1-8. doi:10.3389/frym.2017.00010

Johansen, K. L., Doyle, J., Sakkas, G. K., & Kent-Braun, J. A. (2005). Neural and metabolic mechanisms of excessive muscle fatigue in maintenance hemodialysis patients. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 289(3), R805-R813.

Karpati, G., Hilton-Jones, D., Bushby, K., & Griggs, R. C. (2010). Disorders of Voluntary Muscle. Cambridge: Cambridge University Press.

Kiehn, O. (2016). Decoding the organization of spinal circuits that control locomotion. *Nature*, 17(1), 224-238.

Knierim, J. (2020). Motor Units and Muscle Receptors. *Neuroscience*, 1, 230-256.

- Knierim, J., & Ph, D. (2020). Spinal Reflexes and Descending Motor Pathways. En *Neurosciencie* (págs. 300-347). McGovern.
- Kraus, P. H., Przuntek, H., Kegelmann, A., & Klotz, P. (2000). Motor performance: normative data, age dependece and handedness. *Journal of Neural Transmission*, 107, 73-85.
- Kuypers, H. J. (1964). The Descending Pathways to the Spinal Cord, their Anatomy and Function. *Progress in Brain Research*, 11, 178-202. doi:10.1016/S0079-6123(08)64048-0
- Lal, S., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological psychology*, 55(3), 173-194. doi:doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00085-5
- Lanciego, J. L., Luquin, N., & Obeso, J. A. (2012). Functional Neuroanatomy of the Basal Ganglia. *Cold Spring Harb Perspect Med.*, 2(12). doi:10.1101/cshperspect.a009621
- Latash, M. L., & Zatsiorsky, V. M. (2016). Reflexes. En *Biomechanics and Motor Control: Defining Central Concepts* (págs. 99-120). Academic Press. doi:10.1016/C2013-0-18342-0
- Laurent, R. (2010). Disorders of skeletal muscle. En *The Musculoskeletal System* (págs. 109-122). Churchill Livingstone. doi:doi.org/10.1016/B978-0-7020-3377-3.00008-1
- Lebrero Baena, P., & Fernández Pérez, D. (2015). Neurociencia de la lectura y escritura. En *Lectoescritura. Fundamentos y estrategias didácticas* (págs. 15-42). SINTESIS. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/39182/>
- Lemon, R. N. (2008). Descending Pathways in Motor Control. *Annual Review of Neuroscience*, 31, 195-218. doi:10.1146/annurev.neuro.31.060407.125547
- Lieber, R. L., & Fridén, J. (2001). Clinical Significance of Skeletal Muscle Architecture. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 383, 140-151.

- Lieber, R. L., Fazeli, B. M., & Botte, M. J. (1990). Architecture of selected wrist flexor and extensor muscles. *The Journal of Hand Surgery*, 15(2), 244-250. doi:10.1016/0363-5023(90)90103-x
- Lukasik, K. M., Waris, O., Soveri, A., Lehtonen, M., & Laine, M. (2019). The Relationship of Anxiety and Stress With Working Memory Performance in a Large Non-depressed Sample. *Frontiers in Psychology*, 10(4), 1-9. doi:doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00004
- Lund, S., & Pompeiano, O. (1965). Descending pathways with monosynaptic action on motoneurons. *Springer*, 21, 602-603.
- Macías Merizalde, A. M., García Álvarez, I., Bernal Cerza, R. E., & Zapata Jaramillo, H. E. (2020). La estimulación y el desarrollo motor fino en niños de 5 años. *Scielo*, 16(74), 306-311. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442020000300306&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442020000300306&lang=es)
- Martínez Plaza, C. A. (2009). Estrés laboral y trastornos musculoesqueléticos. *Gestión práctica de riesgos laborales.*, 1(61), 38-46. Obtenido de <http://pdfs.wke.es/1/3/4/9/pd0000031349.pdf>
- McEwen, B. S., & Sapolsky, R. M. (1995). Stress and cognitive function. *Current Opinion in Neurobiology*, 5(2), 205-216. doi:10.1016/0959-4388(95)80028-X
- Medina Gonzalez, C. E., Rodríguez, M. B., & Martínez, F. M. (septiembre de 2016). El complejo articular de la muñeca: aspectos anatófisiológicos y biomecánicos, características, clasificación y tratamiento de la fractura distal del radio. *Medisur*, 14(4), 430-446. Obtenido de <http://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/3361>
- Monjo, F., Terrier, R., & Forestier, N. (2015). Muscle fatigue as an investigative tool in motor control: A review with new insights on internal models and posture–movement coordination. *Humman Movement Science*, 44(1), 225-233. doi:10.1016/j.humov.2015.09.006

- Montalaban, J. C. (2014). Escritura, cerebro y Estilos de aprendizaje. Posibilidades de uso en la escuela. *Revista Estilos de Aprendizaje.*, 2(2).
- Montealegre, R., & Forero, L. A. (2006). Desarrollo de la lectoescritura: adquisición y dominio. *Redalyc*, 9(1), 25-40. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/798/79890103.pdf>
- Muñoz Navarro, N. (2012). Estudio sobre motricidad, lectoescritura y aprendizaje de los alumnos/as de 1er ciclo de E.P. del CEIP el Grau de Valencia. *UNIR*. Obtenido de <https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/678/Mu%C3%B1oz%20Navarra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nibbeling, N., Oudejans, R., & Daanen, H. (2012). Effects of anxiety, a cognitive secondary task, and expertise on gaze behavior and performance in a far aiming task. *Psychology of Sport and Exercise*, 13(4), 427-435. doi:10.1016/j.psychsport.2012.02.002
- Ojeda López, M. d., Rodríguez Weber, F., & Amaya Sánchez, L. E. (septiembre de 2009). Diagnóstico diferencial del temblor. *mediagraphic*, 7(3), 143-149. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/actmed/am-2009/am093b.pdf>
- Oliviero, A., Profice, P., Tonali, P. A., Pilato, F., Saturno, E., Dileone, M., . . . Di Lazzaro, V. (2006). Effects of aging on motor cortex excitability. *Neuroscience Research*, 55(1), 74-77. doi:10.1016/j.neures.2006.02.002
- Paillard, T. (2012). Effects of general and local fatigue on postural control: A review. *Neuroscience and Biobehavioral*, 36(1), 162-176. doi:doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.05.009
- Palmis, S., Danna, J., Velay, J. L., & Longcamp, M. (2017). Motor control of handwriting in the developing brain. *Cognitive Neuropsychology*, 07(29), 187-204. doi:10.1080/02643294.2017.1367654

- Panduro Jesús, A. M., & Morales Cano, N. B. (2018). La psicomotricidad fina en la iniciación de la escritura en los niños y niñas de 5 años de la institución educativa Num. 160. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2331/T.ACAD-SEGEPE-FED-2018-PANDURO%20JESUS%20Y%20MORALES%20CANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peigneux, P., & Lorist, M. (2017). Cognitive fatigue: Underlying Mechanisms and Impact on Performance. *SILVER*.
- Peterson, B. (1979). Reticulospinal Projections to Spinal Motor Nuclei. *Annual Review of Physiology*, 41, 127-140. doi:10.1146/annurev.ph.41.030179.001015
- Puente Ferreras, A., & Ferrando Lucas, M. T. (2000). *Cerebro y lectura*. Obtenido de Waece: <http://www.waece.org/biblioteca/pdfs/d150.pdf>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., Lamantia, A. S., Mcnamara, J. O., & Williams, S. (2004). *Neuroscience* (3ra ed.). Sunderland, Massachusetts, U.S.A: Copyright.
- Quintanal Díaz, J. (2011). Los buenos hábitos de escritura, empiezan en la escuela, lo mismo para diestros que para zurdos. *Redalyc*, 14(1), 157-177. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/706/70618224007.pdf>
- Saleh, M., Reimer, J., Penn, R., Ojakangas, C. L., & Hatsopoulos, N. G. (2010). Fast and Slow Oscillations in Human Primary Motor Cortex Predict Oncoming Behaviorally Relevant Cues. *Neuron*, 65(4), 461-471.
- Sandi, C. (2012). Stress effects on cognitive function. *Revista del consejo escolar del estado*, 1(1), 39-42.
- Schemandt-Besserat, D., & Erard, M. (2009). Origins and Forms of Writing. En *Handbook of research on writing* (págs. 7-22). Charles Bazerman.

- Schwid, S. R., Tyler, C. M., & Scheid, E. A. (2003). Cognitive fatigue during a test requiring sustained attention: a pilot study. *Multiple Sclerosis Journal*, 9(5), 503-508. doi:10.1191/1352458503ms946oa
- Sesboüé, B., & Guincestre, J. Y. (2006). Muscular fatigue. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 49(6), 348-354.
- Shahind, S. (2022). Upper limb muscles and movements. *Kenhub*, 1.
- SHAO-HSIA, C., & NAN-YING, Y. (2010). Characterization of motor control in handwriting difficulties in children with or without developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 52(3), 224-250. doi:doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03478.x
- Shortz, A. E., Pickens, A., Zheng, Q., & Mehta, R. K. (2015). The effect of cognitive fatigue on prefrontal cortex correlates of neuromuscular fatigue in older women. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(115). doi:10.1186/s12984-015-0108-3
- Silva , B., Martinez, F. G., Pacheco, A. M., & Pacheco, I. (2006). Effects of the exercise-induced muscular fatigue on the time of muscular reaction of the fibularis in healthy individuals. *Revista Brasileira de Medicina do Esport*, 12, 85-89.
- Simón-Yanet, Y. (2015). La estimulación temprana a la motricidad fina, una herramienta esencial para la atención a niños con factores de riesgo de retraso mental. *Redalyc*, 15(51), 100-106. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4757/475747192008.pdf>
- Smith, M. W., Sharit, J., & Czaja, S. J. (1999). Aging, motor control, and the performance of computer mouse tasks. *Human factors*, 41(3), 389-396.
- Staab, J. P. (2014). The influence of anxiety on ocular motor control and gaze. *Current Opinion in Neurology*, 27(1), 118-124. doi:10.1097/WCO.0000000000000055



- Teulings, H. L. (1996). Handwriting Movement Control. *Handbook of perception and action*, 2, 561-613.
- Thompson, R. (2001). Habituation. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 6458-6462. doi:10.1016/B0-08-043076-7/03639-1
- Tsao, H., Galea, M. P., & Hodges, P. W. (2008). Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain. *Brain*, 131(8), 2161-2171. doi:10.1093/brain/awn154
- Ursin, H., & Eriksen, H. R. (2004). The cognitive activation theory of stress. *Psychoneuroendocrinology*, 29(5), 567-592. doi:10.1016/S0306-4530(03)00091-X
- Volpe, J. J. (2008). Neuromuscular Disorders: Motor System, Evaluation, and Arthrogyrosis Multiplex Congenita. En *Neurology of the Newborn* (5th ed., págs. 747-766). Boston, Massachusetts: W.B. Saunders Company.
- Walkowski, A., & Munakomi, S. (2014). *Monosynaptic Reflex*. Treasure Island: StatPearls.
- Wallmann, H. W. (2007). Muscle fatigue. *Sports-Specific Rehabilitation*, 87-95. doi:doi.org/10.1016/B978-044306642-9.50008-3
- Watanabe, R. N., & Kohn, A. F. (2015). Fast oscillatory commands from the motor cortex can be decoded by the spinal cord for force control. *Journal of Neuroscience*, 35(40), 13687-13697.
- Watanabe, R. N., & Kohn, A. F. (2015). Fast Oscillatory Commands from the Motor Cortex Can Be Decoded by the Spinal Cord for Force Control. *Journal of Neuroscience*, 35(40), 13687-13697. doi:10.1523/JNEUROSCI.1950-15.2015
- Wing, A. M. (2000). Motor control: Mechanisms of motor equivalence in handwriting. *Current biology*, 10(6), R245-R248.

- Wright, C. E. (1990). Generalized Motor Programs: Reexamining Claims of Effector Independence in Writing. *ResearchGate*, 1(9), 294-320.
- Yoon, T., Keller, M. L., Schilender De-Lap, B., Harkins, A., Lepers, R., & Hunter, S. K. (2009). Sex differences in response to cognitive stress during a fatiguing contraction. *American Physiological Society*, 107(5), 1486–1496. doi:10.1152/jappphysiol.00238.2009
- Zabala Carrillo, C. (2013). Estudio de la aplicación de la psicomotricidad para el proceso de lectoescritura y matemáticas de los niños de 5 a 6 años de la unidad educativa "Angel Polibio Chaves", ubicada en el Valle de los Chillos. Obtenido de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/10958/1/55117\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/10958/1/55117_1.pdf)
- Zehr, E. P., & Chua, R. (2000). Modulation of human cutaneous reflexes during rhythmic cyclical arm movement . *Exp Brain Res*, 135, 241-250. doi:10.1007/s002210000515
- Zehr, E. P., Collins, D. F., & Chua, R. (2001). Human interlimb reflexes evoked by electrical stimulation of cutaneous nerves innervating the hand and foot. *Springer*, 140, 495–504. doi:10.1007/s002210100857