

jos de ser verdadero que la sangre tenga una conexión necesaria con el movimiento muscular, que hay insectos privados de sangre cuyos músculos gozan sin embargo de una movilidad admirable. La misma refutación conviene á la idea de Baglivio respecto de las fibras musculares, el qual las supone envueltas al rededor de los glóbulos sanguíneos, á poca diferencia como otras tantas cuerdas sobre sus poleas (1).

Si comparamos ahora las hipótesis adaptadas á la explicación de las causas del movimiento muscular, hallaremos que la mayor parte de ellas han sido tomadas, ya de la acción del sistema nervioso, ya de la acción del sistema sanguíneo, ya de la acción combinada de ambos. Unos no considerando mas que los nervios, han explicado el movimiento de los músculos, ó por las oscilaciones vibrátiles de las fibras nerviosas (2), ó por intermision de un fluido contenido en los nervios, ya sea que este fluido obre distendiendo las vexiguillas de las fibras carnosas (3), ya irritando su substancia (4). Cada una de estas dos opiniones está sostenida por argumentos muy débiles, pero combatida con razones concluyentes que sirven de apoyo á la opinion contraria (5). Otros, igualmente divididos en dos sectas, deducen la contracción de los músculos, ó de la sangre trāsmitida por las arterias mínimas á las cavidades de las fibras que penetra y llena (6), ó de la que corre por los

(1) Baglivio, de *Fibr. motr.*

(2) Galeno, de *Mot. muscul.*

(3) Hofman, *Apolog. Galen.* Descartes, de *Hom.* Molineoli, *Disput.* Hook, Vieussens, Ridley, Kaan-Boerhaave, Santorini, Tabor, &c.

(4) Haller y sus discípulos.

(5) En el cap. 8. de la sección precedente hemos propuesto mas pruebas de las que se necesitan contra estas dos hipótesis, adonde remitimos al lector para su completa refutación. Tom. 2, part. 3, sec. 1, cap. 8.

(6) Fauvri, Bernouilli, de Molieres, Teichmeyer, Ziegler, Morgan, Borelli, Bellini, &c.

mismos vasos arteriales de que suponen que el músculo está formado (1). Un defecto radical, comun á todas las hipótesis de este género, es que en ellas no se tiene en consideración mas que una de las condiciones que se requieren para el ejercicio del movimiento muscular, despreciando el concurso de muchas circunstancias que no son ménos esenciales para la producción de este fenómeno. Por otra parte, ninguna de las hipótesis mencionadas será capaz de dar una razón completa y satisfactoria de las fuerzas prodigiosas de los músculos cuya distribución é intensidad vamos á valuar. De lo que precede se deriva naturalmente una teoría simple que no tiene necesidad de los adornos que le presta la imaginación de los autores.

CAPITULO VI.

Aplicación de las fuerzas musculares al movimiento de los miembros; estimación de estas fuerzas; mecánica animal; trabajos de Borelli.

Los músculos, así como todos los cuerpos sólidos de la naturaleza, gozan de una fuerza de cohesión que sujeta y encadena sus elementos, resistiendo con energía al efecto de las causas capaces de dispersarlos. Por ella sostienen las fibras musculares sin romperse los pesos que las distienden, restituyéndose á su primer estado luego que cesa la tracción de dichos pesos. Pero la resistencia de los músculos es muy superior á la tenacidad ó cohesión natural de sus partes constitutivas, pues no solamente se prestan en el estado de vida á esfuerzos que bastarian á destruirlos en el cadáver, sino que pueden adquirir un aumento de vigor que los hace algunas veces mas fuertes y robustos de lo que parece imaginable. Es necesario pues que el principio de la vida mantenga en las moléculas de los múscu-

(1) Cowper, Stuart, Swammerdam, Baglivio, &c.

los un grado de aproximacion ó de cohesion fixa que sea suficiente para resistir á los conatos dirigidos á dividir las ó separarlas. En otra parte referimos á una *fuerza de resistencia vital* esta propiedad de las fibras musculares que impide el que sus moléculas constitutivas se acerquen ó se aparten al punto de romper su continuidad (1).

Esta fuerza que resiste á la division de las partes sólidas, no es absolutamente en razon de su cohesion ó su tenacidad fisica, y contribuye mucho á hacer incalculable el prodigioso movimiento de los músculos. Una parte puede experimentar sin inconveniente choques y distensiones, capaces de destruir y romper otras cuya tenacidad fisica es mas considerable. Algunas veces se disminuye repentinamente la resistencia en un órgano muy sólido y duro, que por esta razon viene á ser mas susceptible de quebrarse que otro cuya solidez es menor.

El simple esfuerzo de los músculos extensores del pie ocasiona la rotura del tendon de Aquiles, sin que la porcion carnosa de los músculos sufra el menor daño. Sin embargo la tenacidad fisica de los tendones es mas fuerte que la de las carnes, y por consiguiente la parte muscular debería ceder á las causas distendentes primero que la tendinosa; mas si no cede es porque se halla fortificada y sostenida por la *fuerza de resistencia vital* que se acumula en las carnes y abandona el tendon quando se rompe.

La fuerza de los músculos parece ser tan excesiva como la rapidez de su movimiento. Una infinidad de exemplos recogidos por Haller testifican los vigorosos esfuerzos de que muchos individuos se han mostrado capaces (2). Se cita el de Augusto II Rey de Polonia, que rompía las herraduras de caballo, y torcía un disco de plata con los dedos; el de un ingles de que habla Ba-

(1) Véase tom. 1, part. 2, cap. 6.

(2) Haller, Elem. fisiol. t. 4, pag. 483 y sig.

glivio, que atándose una cuerda al rededor del cuerpo sujetaba dos caballos instigados á latigazos. Hay cuerpos que estando en estado de resistir á una presion de doscientas ó trescientas libras, son divididos y hechos pedazos por la accion sola de los músculos elevadores de la mandíbula; es decir, por los temporales, los pterigoideos internos y los maseteres. Los músculos extensores del muslo pueden levantar el peso de todo el cuerpo, y la carga que tenga este (1).

No tendríamos mas que una idea imperfecta del valor positivo de las fuerzas musculares, si solo atendiésemos á los efectos realmente debidos á su accion, limitándonos á medirla con arreglo al peso absoluto de los cuerpos que el nuestro puede sostener. El cálculo debe comprender los resultados sensibles de la posicion desproporcionada de los músculos, y es necesario abstraer la cantidad de fuerzas que dicha posicion les hace perder: porque en la mecánica animal, en lugar de estar dispuestas las potencias motrices como lo estan en nuestras máquinas ordinarias, de un modo oportuno para economizar las fuerzas y hacerlas obrar con la mayor eficacia posible, se hallan por el contrario situadas de un modo perjudicial al ejercicio y movimiento de ellas.

Los antiguos no imaginaban que la naturaleza hubiese dado á los músculos mas fuerza de la que necesitaban para obrar (2); ántes bien la creian dispuesta á producir grandes efectos con pequeños medios, y concedian á los órganos del movimiento la facultad mas digna, segun ellos, de los planes de una sabiduría infinita, de po-

(1) Los músculos extensores del dorso llevan un peso de ochocientas á novecientas libras; los del brazo pueden sostener uno de ciento sesenta segun la Hire, y aun mas considerable segun Haller. Véase la Hire, Desaguliers, Parent, Borelli, &c.

(2) Aristóteles, Galeno, Lucrecio, Plinio, Ciceron, Gasendi.

der con pocas fuerzas vencer resistencias considerables y mover pesos enormes. Borelli fué el primero que combatió este error de los antiguos, y echó por tierra los fundamentos de una preocupacion tradicional que repugnaba á los principios mas simples de la mecánica y del cálculo, del que hizo una justa aplicacion (1). Demostró que los músculos han debido recibir fuerzas muy superiores á las que emplean eficazmente contra las resistencias que se les oponen, supuesto que en general estan distribuidos, colocados, conformados y reunidos baxo un concurso de circunstancias muy propias para destruir y aniquilar gran parte de su accion. Los primeros libros de la bella obra de Borelli fuéron consagrados á las pruebas de esta verdad, cuyo interés iguala con su evidencia.

Los músculos son unas potencias motrices aplicadas al movimiento de los huesos, que representan las palancas de nuestras máquinas. Estas palancas dadas por los huesos, tienen sus puntos de apoyo en las articulaciones, y mas precisamente en la parte central de la eminencia redonda que es recibida en la cavidad articular. El punto de apoyo del humero corresponde al centro de la cabeza que gira en la cavidad glenoidea del omoplato, y todos los movimientos de este hueso se ejecutan sobre el punto céntrico de su eminencia articular (2).

1.º Una potencia aplicada á una palanca, obra con tantas mas ventajas quanto mas distante está del centro de movimiento, del *hipomochlion*, ó punto de apoyo; al contrario tiene tanto ménos efecto quanto mas inmediata está á él (3). La accion de las potencias que

(1) Alfons. Borelli, *de Mot. anim.* Bibliot. anat. de Mang.

(2) Borelli, *de Mot. anim.* lib. 1, prop. 9. Parent, Mem. de la Acad. de las Cienc. 1702, p. 100.

(3) La mecánica cuenta tres especies de palancas, cuya fuerza se halla determinada por la situacion de la potencia relativamente al punto de apoyo y á la resistencia. Las de la segunda especie son las mas débiles, porque en ellas la potencia está entre la resistencia y el punto de apoyo.

obran con fuerzas absolutas iguales, no se diferencia sino en razon de la distancia á que se hallan de dicho centro con respecto á la resistencia que deben superar. Esto supuesto, vemos que la situacion de casi todos los músculos está mucho mas cerca del centro de la articulacion que los pesos que tienen que levantar. Borelli cita por exemplo el brazo, el antebrazo, el muslo, la pierna, cuyos músculos obran constantemente mas cerca del punto de apoyo que lo que debe estar la resistencia (1). Así, el músculo deltoides quando levanta el humero, transporta y sostiene en su extremidad el peso del antebrazo; pero el centro ó punto de apoyo de los movimientos del humero está en su articulacion con el omoplato, ó lo que es lo mismo, la atadura del músculo deltoides con el brazo está mucho mas cerca de esta articulacion que la extremidad inferior del hueso á que el peso está sujeto. Si la diferencia es en proporcion de 1 : 3, el músculo perderá la tercera parte de su fuerza absoluta, y por esta primera consideracion dicha pérdida deberá ser el triplo de su fuerza eficaz.

2.º Una potencia empleará útilmente toda su fuerza contra la resistencia, si sigue una direccion perpendicular á la de la palanca, ó forma con ella un ángulo recto; al contrario la perderá enteramente, si el ángulo formado es igual á cero, es decir, si la direccion de la potencia es paralela á la direccion de la palanca. El paralelismo y la perpendicularidad ofrecen pues dos límites, entre los quales se hallan contenidos todos los grados posibles de la potencia real de los músculos. Esta potencia será tanto menor quanto mas se aparte de la perpendicular la direccion de los músculos movidos, quanto mas se acerque al paralelismo, y quanto mas considerable sea su grado de inclinacion respecto del exe del hueso (2). Nosotros diremos, imitando la precision de los geómetras,

(1) Borelli, *op. cit.*

(2) Borelli, prop. 12 y 13.

que la fuerza absoluta del músculo es á su fuerza real, como el seno total ó el seno del ángulo recto, al seno del ángulo en que el músculo corta al hueso en el punto de su inserción. Pero la mayor parte de los músculos caen sobre los huesos en una direccion obliqua, y forman con ellos ángulos agudos cuya abertura por consiguiente es menor que la de los ángulos rectos: el deltoides, por exemplo, forma un ángulo de diez grados, y segun esto, cada músculo pierde como él una gran cantidad de sus fuerzas.

Esta consideracion se halla combinada con la precedente en la obra de Borelli, el qual observa principalmente que la línea de direccion que un músculo debe seguir para obrar, no ha de pasar por el centro de revolucion ó de movimiento (1); luego es necesario que se desvie de él y se incline para aplicarse obliquamente á la superficie lateral del hueso. Pero una potencia cuya direccion es obliqua, se aparta ménos del centro que si fuese perpendicular; luego el efecto de la obliquidad sobre la disminucion de las fuerzas se confunde con el que resulta de una distancia mas corta ó mas inmediata al punto de apoyo. Calculando Borelli segun estos dos principios, halla que los músculos biceps y braquial doblan horizontalmente el antebrazo con fuerzas absolutas que exceden mas de veinte veces á la resistencia que tienen que vencer. Sin embargo, Hambergerio, Varignon y Parent, han acusado con justo título de exâgeracion á muchos de sus cálculos (2).

3.º Los músculos formados de fibras tendinosas y carnosas, no las presentan siempre dispuestas en una misma línea, y á veces se encuentran algunas en ángulos mas ó ménos abiertos como en los músculos peni-

(1) Borelli, prop. 13 y 14. Sauvages, Movim. de los musc.

(2) Hamberger, *Fisio. med.* p. 600 y sig. Varignon, *Nuev. mecanic.* t. 1, sec. 2. Parent, *Mem. de la Acad.* 1702.

formes y radiales. Si todas tuviesen la misma direccion, no habria pérdida alguna de fuerzas; al contrario, si al tocarse formasen un ángulo igual á un ángulo recto, casi toda la fuerza quedaria destruida. La diferencia entre las fuerzas empleadas y las eficaces está pues en razon inversa de la diferencia que existe entre el seno del ángulo producido por la reunion de las fibras, y el seno total ó el seno del ángulo recto. Si entre los senos de dichos ángulos hay una grande diferencia, es decir, si las fibras tendinosas y las carnosas son casi paralelas, habrá poca diferencia entre las fuerzas absolutas y las eficaces, y mucha, si se verifica lo contrario (1).

4.º Es necesario doblar la cantidad de fuerzas absolutas descubierta por todas las consideraciones que quedan indicadas, en razon de que un músculo obra con tanta fuerza sobre la parte inmóvil á que está atado, como sobre la mas movable que obedece á su traccion (2). Pemberton desechó este teorema de Borelli (3); pero d'Alambert, cuya autoridad es de mucho peso en esta materia, lo defendió abiertamente (4); y lo que hay aun de mas positivo es que Christóbal Sturm lo confirmó con ingeniosos experimentos; porque habiendo construido una palanca de manera que atando á ella unas cuerdas tirasen segun la direccion de los músculos, demostró de un modo experimental la realidad de todas las pérdidas de que Borelli habia dado la prueba matemática (5).

Si partimos de estas consideraciones reunidas para valuar la potencia real del músculo deltoides, veremos que las fuerzas que emplea en levantar un peso de 55

(1) Borelli, prop. 81. Cheselden, *Anat.* tom. 6.

(2) Borelli, prop. 31, 32, 33, 34, 35, 36.

(3) Pemberton, *Introd. ad Cowper, myotom.*

(4) D'Alambert, *Princip. matem.*

(5) Sturm, *Eph. natur. cur. dec. 2*, año 2.º

libras, equivalen á 2568; y esto sin atender mas que á la fuerza rigurosamente necesaria para superar dicha resistencia despreciando en el cálculo la facilidad con que el movimiento se executa, porque entónces resultaría un aumento difícil de computar que hasta ahora no se ha determinado (1).

Otra razon en que es necesario insistir, se refiere á los músculos largos, y consiste en su tránsito sucesivo por muchas articulaciones; de donde resulta que destruyéndose la mayor parte de las fuerzas empleadas en mover las junturas intermedias por la accion combinada de los músculos antagonistas que las sujetan, solo resta de positiva y eficaz la que sirve para doblar la articulacion última.

Algunos fisicos querian estimar la fuerza de los músculos por el peso específico de cada uno (2); pero esta supuracion es evidentemente falsa, puesto que la gordura, la sangre y la porcion tendinosa aumentan el peso del músculo sin hacer nada para su fuerza. El corazon está muy léjos de ser el mas pesado de los músculos, aunque sobrepuje tal vez á todos en la energía y constancia de sus movimientos. Se ha notado que la fuerza de los Turcos era en general á la de los Ingleses en razon de 2: 1, que la de estos era á la de los Franceses como 7: 1, y sin embargo los pesos de sus músculos no guardan entre sí las mismas proporciones.

Sentados estos principios, será necesario para valuar la inmensa fuerza de los músculos, tener presente: 1.º, la distancia de su insercion al punto de apoyo: 2.º, el ángulo en que cortan á los huesos cuyo movimiento determinan: 3.º, el grado de la abertura del ángulo formado por la interseccion de las fibras tendinosas y carnosas que los componen: 4.º, el número de articulaciones que atraviesan pasando de la primera atadura hasta la última:

(1) Haller, *Elem. fisiol.* t. 4. Hamberger, *Fisiol. med.*

(2) Pitcarn, *de Mot. quo cibi trit.*, &c.

1.º la distribucion de las fuerzas activas entre el punto fijo y el punto móvil de cada músculo (1).

La suma de las fuerzas musculares, reducida por todo lo expuesto á lo que debe ser despues de tantas pérdidas y menoscabos, puede no obstante ser bastante para producir una cantidad de accion tan constante como prodigiosa; porque los músculos son capaces de vencer resistencias enormes durante la vida, y esta capacidad, superior á los obstáculos, manifiesta suficientemente la prodigalidad de medios, la fecundidad de recursos que existen en el seno de la naturaleza, á quien nosotros nos atrevemos á prestar tantas veces el modo de nuestras operaciones y la debilidad de nuestros designios. La fuerza de los músculos, incalculable en su principio, es tambien susceptible de adquirir un incremento extraordinario, en virtud de la *resistencia vital* que aumenta ó disminuye la cohesion ó la tenacidad de dichos órganos para proporcionarla al estado actual y á la duracion de sus necesidades. Esta fuerza es una propiedad singular, diferente de todas las qualidades que caen baxo el imperio de los sentidos, y que no es posible conocer de otra manera que por la observacion, cuyos resultados puede dirigir, verificar y estimar con exáctitud el cálculo solamente.

Aunque al parecer nada hay que compense las pérdidas reales é inseparables de la posicion de la mayor parte de los músculos, sin embargo se concibe que estas se hallan algun tanto moderadas en la conformacion de nuestros miembros por algunos medios mecánicos que favorecen en cierto modo la accion de las potencias musculares. De este género son las eminencias ó apofisis nacidas del cuerpo de los huesos que apartando los

(1) Borelli ha exágerado la disminucion de la fuerza de los músculos, asignando contra su eficacia otras causas falsas, hipotéticas ó dudosas, cuyo error han hecho ver Parent, Pemberton y Varignon.

músculos del centro de articulación, los ponen á una distancia mas grande del punto de apoyo. El arco cigomético del temporal, la apofisis coronoides de la mandíbula inferior, las tuberosidades del humero, los trocanteres del femur, el calcaneo del pie, las apofisis espinosas de la columna vertebral; todas estas producciones oseas prominentes ó salientes proporcionan á los músculos que se atan á ellas, la ventaja de remover su insercion, y emplear sus fuerzas con alguna eficacia mas. El levante que hacen los huesos acia sus extremidades, los huesecillos sexamoideos y los grumos de gordura tienen un uso semejante, desviando la direccion de los músculos, que por esta causa se hacen menos obliquos, y se ingieren en la cara de los huesos baxo un ángulo mas abierto. Las tiras aponouróticas, las vaynas ligamentosas, las membranas musculares, afianzan, acercan, comprimen, aprietan las fibras motrices, concurriendo de este modo á sostener y proteger útilmente su accion (1).

Difícil seria estimar el movimiento de la máquina animal con tanta certeza y precision como el movimiento de los cuerpos físicos. La situacion y relacion que hay entre la potencia, el punto de apoyo, y la resistencia, no ofrecen allí ni constancia ni exactitud; porque el juego de los músculos hace variar en cada grado de flexion el punto céntrico donde se tocan las piezas huesosas, alejando al mismo tiempo el punto de apoyo. De aquí es que las relaciones de la potencia con la resistencia se mudan á cada instante; y como estas sirven de base al cálculo, es casi imposible llegar á una certidumbre cabal, ni conseguir otra cosa que probabilidades aproximativas (2).

(1) Haller, Elem. fisiol. tom. 5. pag. 498.

(2) Por aproximacion es tambien como se ha llegado á calcular la suma relativa de las fuerzas musculares en las diferentes especies de animales. Los experimentos de la Hire

CAPITULO VII.

Usos de los músculos y del movimiento; accion de los miembros superiores y del tronco; accion de los miembros inferiores; estacion, progresion, carrera, salto, &c.

Si hay algun carácter propio para distinguir los animales, es sin duda la facultad que tienen de producir movimientos espontáneos, pasear su existencia por el espacio, trasportarse de un lugar á otro, recorrer distancias, no estar invariablemente fixos en ninguna parte, y poder ocupar sucesivamente todos los puntos de la tierra. Pero la espontaneidad es por ventura un atributo particular al movimiento animal, que no se observe tambien en ciertas acciones uniformes, regladas, visibles y bien determinadas de las plantas, cuyos movimientos imitan algunas veces la libertad y prevision que mejor caracterizan los actos espontáneos del hombre y de los animales? ¿Qual es el mecanismo que hace que la sensitiva se contraiga al contacto de la mano que la toca? ¿Qual el que á las partes de una semilla las obliga á crecer cada una segun el orden natural? ¿Y cómo las hojas de un vegetal pueden tomar siempre la direccion mas favorable á la necesidad de absorber y chupar continuamente los fluidos nutritivos que nadan en la atmósfera? ¿Por qué medios se desvian sus raices de una vena de terreno estéril para inclinarse acia otra que las conviene más (1)? Aun quando se conceda que el movimiento espontáneo en general, es mas evidente y mani-

y Desaguiler prueban que son mas considerables en el hombre que en el caballo, proporcionalmente á la masa de sus cuerpos. Martine dice que la fuerza de contraccion de los músculos, y las absolutas de los animales eran entre sí en las diversas especies de ellos, como la raiz quadrada de sus masas elevada á la quarta potencia.

(1) Véase tom. 1, sec. 1, cap. 5.