X

INTRODUCCIÓN A LA FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO EN EL CABALLO

Francisco Castejón Montijano

Catedrático de Fisiologia
Facultad de Veterinaria
Universidad de Córdoba

Prof. Dr. D. Francisco Castejón Montijano. Académico Numerario y Catedrático de la Universidad de Córdoba

Excmo. Sr. Presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias Veterinarias, Ilmo. Sr. Decano de la Facultad de Veterinaria de Córdoba, señores académicos, queridos amigos y compañeros.

Es para mí un gran honor haber sido designado para ocupar un puesto de académico en esta Real Academia de Ciencias Veterinarias, no solo por lo que el propio nombramiento implica, que ya es de por sí un alto honor, sino por dos circunstancias que paso a reseñar.

En primer lugar por poder estar rodeado de tan eminentes profesionales y poder compartir con ellos los conocimientos y saberes de esta profesión veterinaria, ya que las Academias, a diferencia de las Universidades donde unos enseñan y otros reciben la enseñanza, tiene la misión de difundir y compartir el conocimiento.

En segundo lugar por ocupar la vacante dejada por el insigne profesor doctor D. Francisco Santisteban García.

El Prof. Santisteban García tuvo como característica más acusada de su personalidad, el ser sobre todo gran amigo de sus amigos y el más fiel y desinteresado compañero de sus compañeros.

La familia Santisteban como tantas otras de raíz Soriana, descubre Andalucía siguiendo la trashumancia de sus ganados, y se asientan en el término de Hornachuelos, adquiriendo fincas donde el futuro profesor Santisteban aprende de su padre y de su abuelo a amar al campo y a sus ganados. En la familia Santisteban ya había un tío carnal Curro, que ejerció la profesión de Veterinario, así como su hermano Manolo que la ejerció en el propio pueblo de Hornachuelos, y su primo hermano Manuel Vilela Santisteban de larga tradición profesional en tierras sevillanas.

De su madre, Doña Matilde, ejemplar y virtuosa maestra de primera enseñanza, aprende a querer y respetar a sus alumnos, dedicándose con pasión y cariño al ejercicio de la profesión docente.

Ya desde muy joven destaca su afición a los caballos y es consumado jinete que en unión de otros jóvenes de su generación entre los que se encontraba mi propio padre y el futuro compañero de estudios y profesión Manuel Martínez Boloix, aprovechando que en los años cuarenta todavía era frecuente en Córdoba la existencia de cuadras en las dependencias de las casas familiares, mantenía en ellas y allí cuidaban personalmente sus caballos, compaginando sus estudios con frecuentes y casi diarias excusiones por la sierra cordobesa.

Antes de la guerra civil cursó estudios de primera enseñanza en la escuela francesa de Córdoba, iniciándose en el estudio de la lengua francesa, que perfecciona al pasar después de la Guerra al Instituto Nacional de Enseñanza Media y que le permiten estudiar textos franceses en su especialización quirúrgica una vez terminada su carrera de Veterinario y asistir como becario ala Ecole Nationale Veterinaire de Alfort en París.

Forma parte del equipo de discípulos del Profesor García Alfonso, estableciendo con ellos fuertes y duraderos lazos de amistad y compañerismo, manteniendo especialmente mutua colaboración co el Profesor Félix Pérez y Pérez, también miembro de esta Real Academia, especialmente en los procesos de Inseminación artificial en las grandes especies y en los temas de Fisiopatología de la Reproducción.

En 1950 del Decano le encarga las enseñanzas de Patología quirúrgica y Reproducción Animal, siendo nombrado Jefe del Centro de Inseminación Artificial ganadera instalado en la propia Facultad y dependiente del Ministerio de Agricultura. Posteriormente obtiene por oposición la Cátedra de Patología Quirúrgica y Cirugía de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza donde deja profunda huella de su buen hacer antes de trasladarse a Córdoba para el desempeño de su Cátedra en la que marca una nueva época con la introducción de las más novedosas técnicas quirúrgicas, la creación de los servicios de rayos X, la modernización de los quirófanos con la innovación de una cama basculante para grandes animales, accionada mediante mecanismos de pistones hidráulicos. La partición con cirujanos humanos de transplantes de órganos en animales efectuados en sus propios servicios quirúrgicos de la Facultad de Veterinaria, así como su propia intervención en los aspectos quirúrgicos de la implantación permanente de electrodos intracerebrales en toros de lidia y toros mansos, según la técnica del Prof. Rodríguez Delgado y en colaboración personal con el mismo y con la Cátedra de Fisiología de la Facultad de Veterinaria de Córdoba.

Al igual que sus ilustres antecesores en la Cátedra, mantiene el servicio gratuito de la Clínica quirúrgica en la Facultad de Veterinaria, si bien al contrario de los que era costumbre en ellos, no abrió Clínica privada, aunque siempre estuvo atento a la llamada de sus compañeros y acudía al campo para resolver los casos

quirúrgicos en los que su actuación podía abrir posibilidades de feliz resultado. Fueron muchas sus intervenciones de este tipo, sobre todo en las grandes especies, caballar y bovina y de ésta, especialmente en las ganaderías bravas.

El profesor Santisteban fue jefe de su Departamento, Decano de la Facultad de Veterinaria de Córdoba, miembro de la Junta Directiva del Ilustre Colegio Oficial de Veterinarios de Córdoba y Presidente del mismo, y fundador de la Cátedra Intergeneracional de la Universidad de Córdoba de la que fue su primer director y que tanto éxito ha tenido desde su creación.

En el campo del Deporte Ecuestre hay que destacar que durante los años sesenta y setenta, fue Veterinario de la Federación Hípica Española, asistiendo al equipo nacional de Salto de Obstáculos y de Concurso Completo en la Olimpiada de Roma y Los Ángeles, así como en los numerosos concursos internacionales en que el equipo participaba. Formó parte de las comisiones de compra de caballos de la Federación para el equipo nacional, y de esta forma se consiguieron grandes éxitos deportivos, como el cuarto puesto por equipos y el séptimo y décimo individual en la Olimpiada de los Ángeles.

El tema que voy a tratar hoy es una introducción al estudio de la Fisiología del Ejercicio en el Caballo. Empezaremos con el concepto de Fisiología del Ejercicio, para posteriormente hacer una revisión histórica de los hechos científicos más relevantes que han permitido el desarrollo de ésta ciencia, y terminar con el nacimiento y consolidación de esta ciencia en el caballo.

El termino Fisiología, proviene desde un punto de vista etimológico, del termino griego, Phycis, naturaleza y logos tratado.

El termino ejercicio, proviene de la palabra latina exercitium, que los romanos utilizaron para referirse a los ejercicios físicos repetidos ó a la actividad física. El diccionario de la Real Academia Española de la Lengua define el ejercicio como "cualquier movimiento corporal repetido y destinado a conservar la salud ó recobrarla.

La American Physiological Society considera que el campo de la fisiología del ejercicio abarca los siguientes aspectos:

1. El estudio e interacciones de los órganos, aparatos y sistemas del organismo durante el ejercicio físico, desde el punto de vista molecular hasta el funcionamiento del organismo entero.
2. El estudio de los mecanismos que limitan el rendimiento y funcionamiento de los órganos y sistemas en condiciones de estrés severo.
3. El estudio de las adaptaciones o cambios temporales ocasionados por el ejercicio físico.

De esta forma, podemos definir la Fisiología del Ejercicio, como la ciencia que estudia el funcionamiento de los órganos aparatos y sistemas que componen el organismo humano ó animal durante el ejercicio físico, desde el nivel molecular hasta el nivel integral, la interrelación entre ellos y con el medio externo, los mecanismos de regulación e integración funcional, así como el estudio de las modificaciones tanto estructurales como funcionales que la practica del ejercicio físico, ocasiona.

Para el mejor conocimiento de la fisiología del ejercicio en el caballo, tendremos que empezar en los albores del conocimiento científico, para posteriormente pasar a la etapa de la división de las ciencias donde se diferencian los aspectos puramente morfológicos de los fisiológicos, adentrarnos en el nacimiento de la Fisiología del Ejercicio como ciencia y al final en el nacimiento y desarrollo de esta ciencia en el caballo.

REVISIÓN HISTÓRICA.

Es indudable que para la obtención dinámica de una ciencia, se requiere su conocimiento histórico, y nada puede ser entendido de un modo efectivo sin ella. Tan importante es este ingrediente histórico que ya Aristóteles afirmó "solo se ama y se conoce, aquello que se ve nacer y desarrollarse".

Si bien es cierto, que el desarrollo evolutivo de los conocimientos científicos, no está separado por líneas definidas, pues la historia de los hechos humanos está llena de saltos hacia atrás y hacia delante, no lo es menos, que para la organización y exposición sistemática de los datos, se hace necesaria una división.

Para ello, seguiremos el sistema descriptivo adoptado en "La Historia Universal de la Medicina" de Lain Entralgo, donde la revisión histórica la divide en dos eras, la era pretecnica y la era técnica.

La era pretecnica se extiende desde los orígenes de la humanidad, hasta el alborear del pensamiento científico heleno en los siglos VI y V a.c. En este periodo predomina la medicina sacerdotal con componentes empíricos y mágicos, y las cosmogonías de las antiguas culturas orientales de Mesopotámica, China, India, Irán, del antiguo Egipto faraónico y de la Grecia homérica.

La era técnica, se inicia con el pensamiento científico de la Grecia clásica de los siglos VI , V y IV a.c. y a su vez puede dividirse en tres etapas fundamentales:

1ª) La etapa inicial ó antigua, que corresponde al tiempo que va desde el nacimiento del pensamiento científico griego hasta la revolución científico cultural del Renacimiento.

2ª) La etapa de sistematización y consolidación, enmarcada entre los movimientos renacentistas y la ilustración y el positivismo.

3ª) La etapa de crecimiento y división, comprendida entre el último tercio de siglo XIX y nuestros días.

Pasaremos a desarrollar los distintivos de cada época y los hombres que la hicieron posible.

La era pretecnica. La defensa del territorio, la obtención de alimentos, la preservación de la vida, y la reproducción, son consustanciales con la demostración del vigor físico tanto en el hombre como en los animales.

En los pueblos primitivos predominaron formas de ejercicio relacionadas con la supervivencia, ya sea a través de la caza ó la lucha, como a través de ritos mágico-religiosos, la danza o los juegos. En las civilizaciones antiguas perdura-ron estos valores del ejercicio.

Escritos tan antiguos como el de ILON-FU (2.880 a.C.) en China y los aforismos de Ayur-Veda (1.800 a.C.) en la India, ya señalaban las virtudes terapéuticas del ejercicio.

La medicina china se encuentra muy vinculada a la cosmología Yi-King, que en su versión mas primitiva (S.V a.C.) ya promulgaba un principio inmutable y eterno,"tao", que se manifiesta en un estado de reposo "Yin" ó de movimiento "Yan", cuyo equilibrio es causa de salud y su desequilibrio de enfermedad.

Con el nombre de "Veda" se designa "el saber, el conocimiento sagrado por excelencia" que es trasmitido en la India oralmente de generación en generación.

Existe un Hastyayurveda que es un tratado de medicina de los elefantes, atribuido al monje Palakapya, así como un Ashayurveda o tratado de hipiatría atribuido a Shaliotra..

La medicina iraní tiene su esplendor con Zoroastro que nació según unos autores en el año 2000 y otros en el 800 a.C. Su doctrina fue recopilada en la "Avesta", y en una de sus partes, la "Vendidad", se ocupa de cuestiones anatómicas y fisiológicas en hombres y animales.

En la Grecia arcaica, (S.XII al VIII a.C.) existía un conocimiento anatomo-fisiológico, como lo revelan los poemas Homéricos "La Iliada" y "La Odisea", que recogen gran numero de palabras para designar partes del cuerpo. Así, se utiliza la palabra "Kranión" para designar la calavera de un caballo, y la palabra "psyke" como "aliento vital que se alberga en el pecho, y cuando sale por la boca o las heridas el hombre muere".

Le educación de Esculapio (medico famoso) fue encomendada por su padre, Apolo, al centauro Quirón, medico famoso, que es tenido por griegos y romanos como padre de la medicina veterinaria.

La era técnica.

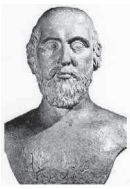
1ª) Etapa inicial o antigua.

La primera referencia antigua al valor del ejercicio como mantenimiento de la salud, nos ha llegado en una recopilación de 53 escritos de los que se desconoce su autoría, pero cuyo origen se centra en la escuela de Cos. Estos escritos fueron recopilados en Alejandría e integraron el denominado "Corpus Hippocraticum". En estos textos se considera al ejercicio como imprescindible para la salud. Este concepto higienista del ejercicio también es defendido por Aristóteles y su influencia se ha extendido hasta nuestros días.

Los griegos clásicos concedían tanta importancia al ejercicio físico, que este debía ocupar una parte importante en la educación. Los espartanos tenían una concepción del ejercicio exclusivamente militarista, mientras que los atenienses tenían una concepción superior basada en la "arete", virtud en la que se conjugaban valores físicos, morales, y de disciplina militar. Los ejercicios físicos pasan a ser un medio para conseguir un desarrollo simétrico y equilibrado del cuerpo, para resaltar su belleza tanto en reposo como en movimiento.

Con la profesionalización del atletismo, surgió la figura del "gimnasta" que eran deportistas retirados (paidotribos) que se especializan en el entrenamiento de otros atletas. Algunos "gimnasta" evolucionan hacia el medico gimnasta o "gimnastae", especializados en la evaluación de la condición física y en la preparación para la competición.

De la Grecia clásica hay que destacar dos nombres, **Alcmeón de Crotona** y **Aristóteles**.



Alcmeón de Crotona fue anatomista humano y veterinario, siendo el primero en realizar disecciones humanas y vivisecciones con animales, describiendo los nervios principales a los que denominó "poroi". Distinguió entre arterias y venas. Fue el primer disector del cerebro, al que señaló como centro de la vida del hombre, afirmando que el sueño se produce por la retirada de sangre del cerebro, y que si esta retirada es total se produce la muerte.

Platón consideraba que los sentidos proporcionaban al hombre una visión irreal del mundo, por lo que supuso un estancamiento en el estudio de la naturaleza. Sin embargo, su discípulo **Aristóteles**, vuelve al mundo de los hechos

concretos superando el mundo de las ideas de su maestro Platón, y reconoce la supremacía de los hechos naturales y de los provocados con la experimentación. Fue el gran compilador de su tiempo. Nos dejó bellas descripciones de muchos órganos, sistemas y aparatos. A los fisiólogos nos dejó dos instrumentos valiosísimos, la observación como fuente de conocimiento, y la lógica formal.

De la época romana hay que destacar a **Herófilo de Caledonia**, y sobre todo a **Galeno de Pergamo**.

Herófilo de Caledonia fue el primero en dejar constancia del uso de la disección de cadáveres de modo sistemático. Logro dar un gran impulso a la anatomía y llego a entrever una conexión funcional entre el cerebro y los nervios.

Galeno fue el mayor teórico y sistematizador de la biología antigua. S u obra fisiológica esta agrupada en 17 libros bajo el titulo "De usu partium". Se le puede considerar como el fisiólogo mas importante antes de Hravey. Realizó la primera sección de la medula espinal, produjo afonía por sección del nervio laríngeo recurrente, y estableció las primeras explicaciones validas del mecanismo de la respiración. También demostró la propiedad automática del corazón, y que la sangre caminaba tanto por venas como por arterias.

De esta época también hay que destacar al gaditano **Columella**, gran glosador de las obras de Hipiatría. Su libro, "De re rustica", tuvo sus continuadores en **San Isidoro de Sevilla** y en la época árabe en el libro "Kitab-al-Felaha" o libro de la agricultura, escrito bajo los mismos conceptos y distribución de materias.

En la edad media los restos de las ciencias sobrevivieron en los monasterios, donde fueron transcritos y conservados en manuscritos.

La llamada en Europa "edad de las tinieblas", está llena con la cultura del mundo árabe, verdadero heredero y trasmisor de los conocimientos griegos y romanos. **Ortega y Gasset** hizo notar que la expansión del mundo árabe hacia occidente se hizo ocupando ciudades que antes habían sido greco-bizantinas y romanas, de cuyos usos, costumbres, tradiciones y ciencias, se apropió, trasmitiéndolos como propios.

En este punto hay que destacar el gran papel de la Península Ibérica, y sobre todo del Califato de Córdoba, de tan gloriosa ascendencia romana, así como después la Escuela de Traductores de Toledo, que vertió nuevamente al mundo latino toda la ciencia atesorada por los árabes.

En el prólogo escrito por el **Profesor Castejón y Martínez de Arizala** al "Libro de los Caballos" o Tratado de Albeitería del siglo XIII, publicado por **George Sachs**, se señala que la mas pura tradición oriental heredada de los indios, persas

y mesopotámicos, era la de escribir libros sobre este noble animal en cuya tarea rivalizaban reyes y nobles personajes.

Paralelamente surgió la necesidad de conocer y curar las dolencias del caballo, formado a manera de segunda parte, y predominando la podología o la hipiatria según las preferencias personales de los autores.

En los libros de agricultura de los árabes españoles, como el clásico de **Abu Zacaria**, se concede mayor importancia al estudio del ganado o explotación animal que al propiamente dicho de la agricultura, dedicando extensos capítulos no solo al caballo sino también a los demás ganados rumiantes.

Hay que destacar al gran filosofo cordobés **Ibn Rusch**, conocido en el mudo latino por **Averroes**, quien escribió un "Kitab al-Hayawan" o "Libro de los Animales", del cual solo se conoce una traducción latina que conserva el Instituto Botánico de la Universidad de Padua.

Constituye una aportación científica de enorme valor, al tiempo que un honor para la ciencia hispano-árabe, la floración de tratadistas de agricultura y ganadería en nuestro país Andaluz, como **Ibn Waffid, Al Tignari, Ibn Bassal, Abu Zacaria, Ibn Hayay y de Abul Fair.**

Dentro del mundo científico hispano-árabe hemos de citar por su importancia en el campo de la medicina a **Abul Qasim al Zahrawi** más conocido por el nombre de **Albucasis**. Que escribió el "Kitab al-Tasrif" o Libro de la Acción. El "Libro de las Generalidades de la Medicina" de **Averroes**. El "Kitab al-Mursid fe-Khul" o guía de oculística del cordobés **Muhammad al-Gafiqui**. El "Kitab halq al-Ganin Watadbir al-Habala wal-Mawludin" o "Libro de la Generación del Feto y el Tratamiento de las Mujeres en Cinta y de los Recién Nacidos, de **Arid Ben Said al-Qurtubi**.

Hay que destacar la obra "Kitab al-adwiya al-Mufrada" o "Libro de los Medicamentos simples" de **Abu Chafar Ahmad al-Gafiqui**, ilustre médico cordobés al que se le ha llamado modernamente "el mas ilustre farmacólogo del mundo musulmán".

Tampoco hay que olvidar las grandes aportaciones filosóficas y médicas de **Avicena**, cuyo tratado enciclopédico fue traducido durante el renacimiento como "Canonis Avicene".

En el siglo XII y XIII las traducciones árabes provocan en Europa el nacimiento de un nuevo interés por las ciencias, fundándose gran número de Uni-

versidades que comenzaron a influir en la vida política, social e intelectual de las naciones europeas.

En Bolonia, **Alderoti** y su discípulo **Mondino de Luzi**, realizaron las primeras disecciones humanas. La obra de **Mondino** "Anatomía" es el manual mas importante y popular en su género. Afirmó que la orina era el producto de la filtración de la sangre, y que el cerebro era el centro de las actividades nerviosas y psicológicas.

En los siglos XIII, XIV y XV, el conocimiento científico se va recuperando poco a poco desarrollando una actitud racionalista y observadora frente a los problemas humanos y naturales, despertando un espíritu crítico, que acabará derrumbando la autoridad indiscutible de Aristóteles y Galeno. El hombre termina encontrándose así mismo y hácese centro y medida del mundo que lo rodea. El olvido de una posición telo céntrica deja paso a un antropocentrismo que cristalizará en el Humanismo y en el nacimiento de la "nuova sciencia". Con ello entramos de pleno en los umbrales de una nueva etapa histórica.

2ª) Etapa de Sistematización y Consolidación como Ciencia

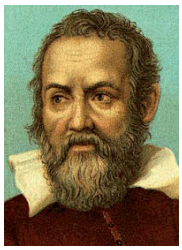
Comienza con el Renacimiento que es la culminación del florecer científico iniciado en el siglo XIII. Para la ciencia asistimos en este periodo al nacimiento del método científico y al crecimiento y desarrollo de todas las ciencias experimentales.

Las cuatro disciplinas básicas, que desde los presocráticos integraban el conocimiento científico, (la eidología o anatomía descriptiva, la estequilogía, la antropogenia y la dinámica), se van dividiendo en nuevas disciplinas. La dinámica se escinde en la fisiología, que pasa a ser entendida como el conocimiento de la actividad del cuerpo viviente y la psicología, doctrina que trata de la vida anímica del hombre.

A partir **Jean Fernel** (1497-1558), el término fisiología perderá su significado general. La fisiología aparece para él como la descripción teórica de las actividades del organismo según la vieja doctrina de los elementos, los temperamentos y los humores. Su aportación consistió en la separación de la fisiología como ciencia independiente y en la introducción del concepto de cuerpo como algo dinámico frente al estudio anatómico. Se trata de una fisiología en la que la estructura determina la función y por lo tanto la función puede ser deducida matemáticamente a partir de la estructura y de sus movimientos.

El ejercicio físico recobrará la importancia que tuvo en la Grecia clásica, pero bajo una perspectiva principalmente higienista, de tal forma que una parte relevante del saber médico será la relacionada con los ejercicios corporales. De ahí que la mayor parte de los escritos relativos al ejercicio fueran relatados por médicos insignes, entre los que destacan "De Arte Gimnastica" (1569) del italiano **Jeronnimus Mercurialis** por su carácter menos higienista y mas centrado en el propio ejercicio físico.

Frente al escolasticismo, inmovilismo y rigidez de las universidades surge la incipiente ciencia moderna sustentada en dos pilares fundamentales: el sabio solitario como **Leonardo Davinci, Copernico, Erasmo, Vives, Galileo, Harvey, Descartes** etc. Y la **Academia** o institución que promueve la investigación y en la que los sabios se reúnen, no para enseñar a los que saben poco, como sucede en las aulas universitarias sino para comunicarse entre sí sus descubrimientos. De ellas podemos destacar la "**Academia dei Lincei**" en Roma, la "**Royal Society**" en Londres y la "**Academie des Sciencies**" en Paris.

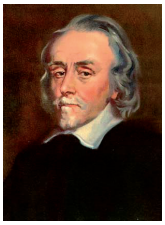


Galileo Galilei (1564-1662) ocupa un lugar destacado. Su obra representa un cambio de actitud y mentalidad frente a la naturaleza, definiendo y separando en ella dos modos de consideración: la naturaleza como naturaleza de las cosas y la naturaleza como objeto de ciencia. Su espíritu crítico y su intenso sentido mensurativo, fueron los pilares decisivos para el crecimiento y desarrollo de una verdadera ciencia experimental.

Francis Bacon (1561-1626) inicia en el campo de la fisiología, la preocupación metódica del conocimiento. Quiere que las ciencias queden aisladas de todo lo que representa magia y ocultismo. La mayor contribución fue la creación del método inductivo y el buscar el método utilitario de las ciencias.

Santorio Santorio (1561-1636) fue la mas destacada personalidad en la investigación fisiológica antes de Harvey y el primero en aplicar los principios mensurativos de Galileo a la fisiología. Ideó y construyó una gran cantidad de instrumentos, como el "pulsiologio" para medir la velocidad del pulso, el termómetro, la balanza, que le permitió la primera medida de la transpiración insensible etc.

René Descartes (1596-1650) es junto a Bacon el creador del método científico. Su obra transcendental "El Discurso del Método" es según Foster "mas que una base filosófica para la fisiología una base fisiológica para sus concepciones filosóficas". Su obra "De Homine" es considerada como el primer texto europeo de fisiología.



El nombre mas grande para la fisiología en la edad moderna es **William Harvey** (1578-1657), a él se debe la profunda revolución de la fisiología en este periodo histórico. Su viaje y permanencia en Italia le puso en contacto con el conocimiento anatómico. Fue discípulo de **Fabricio Acquapendente** (1533-1616) gran anatomista y fisiólogo que ha de considerarse como el inmediato precursor de los descubrimientos de Harvey.. También tuvo contacto con la obra de Galileo, aunque posiblemente no lo conociese de manera personal.

Su libro capital es "Exercitatio Anatomica Demotu Cordis et Sanguinis in Animalibus" publicado en 1628 donde se expone su teoría y descubrimiento de la circulación sanguínea. Este tratado representa un hito científico pues no fue la simple continuación de lo anterior sino la demostración evidente por experimentación de una realidad con conclusiones y explicaciones radicalmente opuestas a las hipótesis hasta entonces sostenidas. Con este fisiólogo se inicia la etapa experimental de la fisiología.

En el área de la cultura mediterránea de la época se encontraba muy avanzada en el ambiente científico la teoría de la circulación sanguínea, de la que fuera precursor indiscutible el médico aragonés **Miguel Servet** (1511-1533) que describió la circulación pulmonar, y el albéitar zamorano **Francisco de la Reyna**, que en 1546 publicó su obra "Libro de Albeyteria" donde afirmó que "la sangre anda en torno y rueda por todos los miembros y venas".

Aunque ya durante el renacimiento, se va formando la idea del *progreso indefinido*, éste va a presidir el pensamiento del científico ilustrado, de tal forma, que mediante su voluntad y su razón, el hombre ilustrado, se siente capaz de avanzar indefinidamente en el gobierno técnico del mundo y de su propia vida.

De esta época hay que destacar a **Marcello Malpighi** (1628-1694), por lo que sus descubrimientos supusieron para la fisiología del ejercicio. Describió la vesícula pulmonar (alvéolos), y que el aire no entra en contacto inmediato con la sangre. También descubrió los capilares pulmonares y los hematíes, clausurando la teoría galénica de que la sangre era una mezcla de humores.

Especial mención merece el francés **Lavoisier** (1743-1794), por los descubrimientos y sus repercusiones en nuestro ámbito. Descubrió que el oxigeno inspirado se combina con el carbono produciendo acido carbónico y agua. Así mismo comparó la respiración a la combustión y estableció relaciones entre respiración

y digestión, ya que no concibe fuego sin consumo de combustible: "Si los animales no repusiesen con los alimentos lo que pierden con la respiración, muy pronto faltaría el aceite al candil, y el animal perecería como se apaga la llama cuando falta el combustible". Para Lavoisier, el ser vivo no constituye simplemente una asociación de órganos que funcionan, sino un conjunto de funciones integradas que responden cada una de ellas a exigencias precisas. Este concepto es muy importante pues guarda una gran similitud con la concepción actual de la fisiología.

También destacó en esa época el alemán **Hermann Boerhaave** (1668-1738) y el suizo **Albrecht von Haller** (1708-1777), discípulo del anterior.

Boerhaave, recopilo y sistematizo el conocimiento fisiológico de la época en su obra "Institucione Medicae" que fue traducido a varios idiomas. Es el primer libro de fisiología que merece tal nombre, y fue utilizado en España durante el S. XVIII.

Albrecht von Haller llevo a cabo numerosos estudios de irritabilidad, sensibilidad y relación entre estimulo y reacción, lo que le llevó a exponer su teoría de la irritabilidad. También realizo estudios sobre la mecánica de la respiración, la formación del hueso y la acción del jugo gástrico. Su gran obra fue "Elementa Physiologiae Corporis Humani".

Otro de las grandes figuras de esa época fue el italiano **Lazaro Spallanzani** (1729-1799), sacerdote y profesor de Módena y Pavía. Fue un gran científico, basó sus descubrimientos en la observación y en la experimentación. Pudo demostrar que la combustión no se producía solo en los pulmones, como pensaba Lavoisier, sino que se producía en todos los tejidos.

También cabe destacar **Luigi Galvani** (1737-1798), padre de la electrofisiología y descubridor de la electricidad animal. Sus estudios suscitaron el interés de **William von Humboldt,** que realizó estudios sobre la actividad eléctrica de los nervios y músculos. Se sientan las bases para los avances de la electrofisiología que tendrán lugar en los siglos XIX y XX, y que fructifican con el desarrollo de la electromiografía, electrocardiografía, electroneurografía y electroestimulación, muy utilizada e en el estudio de las adaptaciones al entrenamiento de fuerza y por lo tanto de gran interés en el contexto de la fisiología del ejercicio.

Acabado el S. XVIII y con el triunfo de la Revolución Francesa, el mundo occidental se adentra en una nueva etapa histórica: el Romanticismo.

Durante el siglo XIX se produce un gran avance fisiológico gracias a la aplicación de los avances en física y química. Se desarrolla la teoría de la cinética de los gases, mejora el conocimiento de la electricidad, se establece la teoría atómica de la materia, etc.

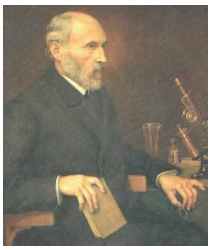
En fisiología destacan científicos como **Francoise Magendie** (1783-1855) y **Claude Bernard** (1813-1878) en Francia; **Johannes Muller** (1801-1858), **Carl Ludwig** (1836-1895) y **Eduard Pfluger** en Alemania; **Charles Bell** (1774-1842) y **Michel Foster** (1836-1907) en Inglaterra; e **I.P. Paulov** (1849-1936) en Rusia.

Magendie fue un habil experimentador de animales vivos que abono y preparó el terreno para su genial discípulo, **Claude Bernard.** Fue un enamorado de la revisión de los hechos. Él decía de si mismo que era "un chiffonier des faits" un trapero de los hechos que va recogiendo todos los datos científicos que encuentra.

Bernard, propuso el concepto de la sangre y fluidos corporales como "medio interno", en el cual las células llevan a cabo sus actividades. En la actualidad este concepto sigue plenamente vigente. También dilucidó la importancia de los jugos gástricos y su significado en la digestión, descubrió el destino de los hidratos de carbono y la función glucogénica del hígado. Descubrió la participación del simpático en el tono vasomotor y realizó numerosas aportaciones al conocimiento fisiológico de las secreciones internas. Su obra maestra "Introduction al etude de la medicine experimental" dedica una parte al razonamiento experimental, otra a la experimentación animal y una tercera al método experimental fisiológico.

Johannes Müller, introduce en su obra fisiológica dos elementos hasta ahora no considerados: el psicológico y el comparativo. No se puede, decía, el ser psicólogo sin antes ser fisiólogo. Su contribución más importante la hizo sobre el sistema nervioso y el conocimiento de las sensaciones.

Carl Ludwing, inventa el quimográfo, que utiliza para obtener registros de presión arterial y de contracciones musculares. La experimentación sistemática lleva de inmediato a la diversificación de los aparatos a emplear y la especialización de los fisiólogos como consecuencia de la acumulación de los conocimientos.



En España sobresalió el premio Nóbel Ramón y Cajal (1852-1934), quien demostró que el tejido nervioso no era una estructura continua sino que esta formado por células, las neuronas, que se relacionan entre sí por mera contigüidad. La importancia de la obra de Ramón y Cajal va más allá de los descubrimientos científicos ya que tuvo y sigue teniendo una gran repercusión en la vida científica de nuestro país.

3ª) Etapa de crecimiento y división

El gran desarrollo de la fisiología llevó a la tendencia al igual que ocurre en otras ciencias a disociar sus contenidos. Como consecuencia en este periodo tiene lugar la división de las diversas partes que integran el saber fisiológico. Una de estas partes será la fisiología del ejercicio que tiene sus comienzos a principios del siglo XX en Copenhague, donde se creo el primer laboratorio de teoría de la educación física del mundo, dirigido por el doctor Johannes Lindhard.

La fisiología del ejercicio.

Su aparición como disciplina científica obedece a tres causas principales:

1º. A la necesidad, impulsada por los militares, de mejorar el conocimiento de los factores que pueden determinar el rendimiento de los soldados en campaña.

2º. Al fenómeno deportivo que va extendiéndose a todos los individuos y además a la identificación del orgullo nacional con los éxitos alcanzados en el terreno deportivo, lo que despierta el interés por buscar nuevos procedimientos que permitan aumentar el rendimiento de los atletas de cada país en las competiciones internacionales .

3º. Al avance científico en el ámbito de la fisiología regulatoria e integrativa, que descubre que el ejercicio es un excedente modelo para poner de manifiesto los distintos mecanismos homeostáticos.

Johanes Lindhard es considerado como el iniciador e impulsor de la fisiología del ejercicio moderna. En 1908 escribió una carta dirigida a **August Krog** donde exponía sus dudas acerca de los postulados de la gimnasia sueca, que consideraba especulativos. Posteriormente, junto con Krogh, inició una serie de estudios que le permitieron demostrar que ni la postura "óptima", ni la ejecución tan rigida de los movimientos, facilitaban la respiración, contrariamente a lo que postulaban los defensores de la gimnasia sueca. Realizaron trabajos sobre la respuesta ventilatoria y circulatoria al esfuerzo, la contracción muscular y la termorregulación durante el ejercicio.

Avances en el conocimiento de la fisiologia del ejercicio

1.- Función respiratoria

Uno de los factores que mas ha contribuido al avance de la fisiología del ejercicio ha sido el descubrimiento de numerosos test e instrumentos para el estudio del rendimiento físico.

Entre los hechos mas destacables sobre mecánica respiratoria hay que señalar: los estudios de **Borelli (1685)**, la invención del espirómetro por **Hutchinson**, el descubrimiento de la acción respiratoria del diafragma por **Fick**, la invención del pneumógrafo por **Marey**, el descubrimiento de la presión intratorácica y del carácter activo de la respiración por **Bert y Luciani** y el descubrimiento de de la presión negativa intrapleural por **Donders**. También fueron importantes los descubrimientos de la inervación vagal del centro respiratorio bulbar (**Flourens, Girke, Gad y Marinesco**), la existencia de centros respiratorios espinales(**Brown-Sequard**), y la relación entre centros respiratorios y corteza cerebral (**Hering y Breuer**).

A mediados de S. XIX se definen los volúmenes pulmonares. Posteriormente se ideó el espirómetro de compensación (**Tissot 1904**), y a continuación **Hermansen (1933)** define el concepto de ventilación voluntaria máxima y mas tarde **Tiffeneau y Pinelli (1944)** definen el concepto de espiración forzada máxima. Por último **Hyatt** describió la curva flujo volumen y **Cournand y Darling (1937)** introducen el concepto de distribución y homogeneidad de la respiración.

2.- Transporte e intercambio de gases

Las primeras determinaciones cuantitativas de gases en sangre fueron realizadas por **Heinrich y Magnus** en 1837, demostrando las diferencias entre la sangre arterial y venosa. Mas tarde **Meyer (1857)** demostró el efecto de la presión atmosférica en la unión del oxigeno con la sangre y **Paul Bert** relacionó el "mal de montaña" con la baja presión de oxigeno en le aire espirado. En 1830 **Fick** formula su famoso principio que permitió a los investigadores coetáneos y sucesores el estudio del control de la función respiratoria y del transporte de gases a los tejidos. También fueron de gran ayuda el desarrollo de los métodos de **Haldane y Van Slyke** para la extracción manométrica de los gases sanguíneos.

3.- Función del aparato circulatorio

De vital importancia para la fisiología del ejercicio fuero los pioneros estudios de **Harvey** sobre la acción de bomba del corazón y la circulación de la sangre, así como el descubrimiento de la circulación pulmonar por **Miguel Servet**. También hay que destacar la aportación de **Santorio** con el descubrimiento del "pulsilogio".

Durante el siglo XIX se descubre la inervación vasomotora (**Bernard**) y la inervación vagal del corazón (**Bernard, Galvani, Ens y Weber**), así como la exis-

tencia de un centro vasomotor en el bulbo y el sistema de conducción intracardiaca (**Hiss, Keith y Flack, Aschoff y Tawara**). También son notables los avances hemodinámicos con la aparición de numerosos instrumentos como el quimográfo (**Ludwig**) el esfigmomanómetro (**Marey**) y el pletismográfo (**Vierordt**), por citar los más relevantes.

4.- Bases biomecánicas

Las aportaciones pioneras en este campo fueron realizadas principalmente por **Leonardo da Vinci** en cuanto a las palancas óseas y sus relaciones con los músculos y **Fabrizi d´Acquapendente** que explicó la mecánica de la marcha humana y el vuelo de las aves concibiendo el músculo como un sistema de fibras longitudinales y transversales gobernadas por las leyes de la palanca. Mas tarde **Borelli** continuó con los trabajos de la mecánica del movimiento de sus predecesores.

A principios del siglo XX **Archibald Hill** estableció la relación entre fuerza y velocidad de la contracción muscular y entre la potencia desarrolla y la velocidad de la contracción. A mediados de este siglo **Huxley** desarrolló la teoría de la cremallera y la relación de la respuesta elástica del músculo en tensión con los puentes cruzados actomiosínicos.

A lo largo del siglo se fueron introduciendo numerosos instrumentos para la determinación de las variables biomecánicas como: los dinamómetros extensiométricos e isocinéticos, las plataformas de fuerza, las cámaras de filmación de alta velocidad, los sistemas de digitalización, acelerómetros, goniómetros, electro miógrafos, etc.

5.- Bioquímica y energética de la contracción muscular

A finales del siglo XVIII **Scheele**, descubrió el ácido láctico. En 1807 **Bercelius** asoció la producción de ácido láctico con la contracción muscular. A mediados del siglo XIX **Du Bois-Reymond** determinó la presencia de ácido láctico en la musculatura y **Pflüger y Schmieddeberg** demostraron la existencia de enzimas respiratorias en los tejidos.

A principios del siglo XX **Fletcher y Hopkins** demuestran de forma fehaciente la producción de lactato durante la contracción muscular y la relación de este con la aparición de la fatiga. De igual forma demostraron que en ambientes ricos en oxigeno la producción de lactato era escasa mientras que en ausencia de este la producción de lactato era elevada.

En 1909 **Douglas y Haldane** descubrieron que la formación de ácido láctico es importante para la estimulación de la respiración. **Meyerhof y Hill** (1911) distinguieron en la contracción muscular una fase aerobia y otra anaerobia. Ellos consideraban al ácido láctico imprescindible para el funcionamiento de la mecánica muscular, la cual descomponían en dos fases. En una primera fase, se suponía que tenía lugar en anaerobiosis, y era origen de la producción de calor "inicial", y una segunda fase que denominaban de restauración, caracterizada por la aparición del calor "retrasado o tardío" proporcionado por las vías aerobias. De enorme importancia fue el descubrimiento del ATP y de la fosfocreatina y su papel en la contracción muscular (**Lohmann, Fiske, Subbarow**).

En la década de los años veinte del pasado siglo, **Meyerhof** identificó las reacciones químicas implicadas en el desdoblamiento del glucogeno muscular hasta la producción de lactato, campo en el también tuvo una actuación destacada nuestro premio nobel **Severo Ochoa**. En 1931 **Lundsgaard** demostró que existen compuestos fosfágenos ricos en energía que actúan a modo de moneda de pago energética en las células. Mas adelante (1940), **Krebs y Cori** identificaron las rutas metabólicas de los ácidos tricarboxilicos y del metabolismo del lactato, respectivamente.

Ergómetros.

La cuantificación de la cantidad de trabajo efectuado durante el ejercicio se realiza por primera vez en 1883 con la invención del ergómetro de manivela por **Speck**. Mas tarde estos ergómetros fueron mejorados por **Zuntz y Fick**, ideando este ultimo un instrumento bastante parecido a los cicloergómetros actuales.

A principios del siglo XX se desarrollaron los primeros ergómetros. En 1903 se usó el primer cicloergómetro de frenado pero resultó ser bastante inexacto. En 1912 se construyó el primer cicloergómetro que permitió mantener un esfuerzo a intensidad constante que poco después fueron mejorados por **Krogh, Knipping, Kelso** etc.

En la década de los veinte del pasado siglo, se introdujo el tapiz rodante en los estudios de Fisiología del Ejercicio por el Laboratorio de Fatiga de Harvard. Desde entonces se han ido mejorando las prestaciones de los tapices rodantes que en la actualidad constituyen uno de los instrumentos mas utilizados en los laboratorios de Fisiología del Ejercicio.

El uso del tapiz rodante en el caballo con fines científicos fue llevado a cabo por primera vez por **Zuntz** en 1889, estudiando aspectos del metabolismo energético, y junto con **Lehmann**, estudiando aspectos respiratorios en tres caballos.

Proctor y cols en 1934, usaron el tapiz rodante para estudiar la eficiencia de caballos de diferentes edades y pesos, tirando de diferentes pesos a diferentes velocidades e inclinaciones.

El tapiz rodante de alta velocidad, no fue desarrollado hasta 1967 en la Universidad de Uppsala en Suecia por **Sune Pearson**. Demostró como se facilitaba el estudio del consumo de oxigeno durante un ejercicio máximo, y de esta forma se hacia posible establecer una relación mas precisa entre el consumo de oxigeno y el trabajo realizado en diferentes estados de entrenamiento. Hasta 1980, los estudios con cinta rodante de alta velocidad se realizaron exclusivamente en la Escuela de Agricultura de la Universidad de Uppsala. En la actualidad, esta tecnología es empleada en muchos laboratorios de Fisiología del Ejercicio en el Caballo.

El concepto de umbral anaerobio

A principios del siglo pasado se verificó un aumento de la lactoacidemia con respecto al valor de reposo cuando la intensidad del esfuerzo era aumentada por encima de un cierto nivel. En 1927 **Bock y cols** comprobaron que durante el ejercicio la acidosis metabólica se produce a una intensidad umbral de trabajo. En 1929 **Herbst** comunicó que los iones hidrogeno procedentes del ácido láctico parecían condicionar la capacidad de resistencia al esfuerzo. Mas adelante diversos trabajos realizados por **Bang** (1936), **Robinson y Harmon** (1941), **Holmgren y Strom** (1959), demostraron que en el caso de un esfuerzo de idéntica fuerza de trabajo los sujetos entrenados presentaban lactoacidemias menores que los no entrenados.

Pero no es hasta el final de la décadas de los cincuenta cuando **Hollmann** (1959) emplea la denominación de *zona*, a la intensidad de esfuerzo correspondiente al inicio del metabolismo anaerobio. Observó que durante un esfuerzo de intensidad progresiva, se alcanza un punto en el que la ventilación (Ve) aumenta de forma mas acusada que el volumen de oxigeno (VO2) denominando a este punto como *punto de eficiencia respiratoria óptima.*

A partir de 1964 **Wasserman** y cols publicaron trabajos en los que confirmaron los hallazgos de **Hollmann** y propusieron que a ese punto se le denominara "umbral anaerobio". Desde entonces este término se ha impuesto en la literatura científica, y junto con su equivalente el "umbral láctico", constituye uno de los procedimientos mas usados para la evaluación de la condición física y la respuesta al entrenamiento.

La introducción de la técnica de biopsia muscular percutánea.

La biopsia muscular mediante aguja ya fue introducida para el estudio de las distrofias musculares a finales del siglo XIX. En 1962 **Jonas Bergström** modificó

la aguja de biopsia para la obtención de pequeñas muestras de tejido muscular en humanos. Esta técnica permitió ver la elevada plasticidad del músculo humano y su capacidad de adaptación morfofuncional ante diversos estímulos.

En 1955 las investigaciones de **Padykula y Herman** describieron un procedimiento de identificación de diversas fibras musculares en función de la actividad ATPasa, como fibras tipo I o de contracción lenta y II o de contracción rápida. En 1960 **Dubowitz y Pearse** realizaron las primeras mediciones de la actividad enzimática muscular. En el año 1973, la obra de **Dubowitz y Brooke** "Muscle biopsy: A modern aproach" supone el espaldarazo definitivo a los sistemas de clasificación fibrilar basados en tecnicas histoquímicas.

En el caballo, la primera referencia sobre la diferenciación histoquímica de tres tipos fibras pertenece a **Súber** en 1971. Posteriormente **Gunn** (1973) aplica la tecnica de miosin-ATPasa al músculo del caballo. En 1974 **Lindholm y Piehl** estudian la actividad enzimática y concentración de electrolitos y metabolitos en el músculo glúteo medio. A comienzos de 1980 **Snow y Guy** introducen las preincubaciones acidas en la técnica miosin-ATPasa en el músculo equino, identificando tres tipos de fibras. Fibras ST teñidas intensamente, fibras FTH de baja intensidad de tinción y fibras FT de tinción intermedia. Las fibras ST son de contracción lenta y oxidativas, las fibras FTH son de contracción rápida y oxidativas, y las fibras FT son de contracción rápida y glucolíticas.

Essen y col (1980) al estudiar las características fibrilares del músculo del caballo, diferencian cuatro tipos de fibras por tecnicas ATPasa a diferentes pHs, fibras tipo I, IIA, IIB y IIC

Laboratorio de Fatiga de Harvard

El famoso bioquimico L.J. **Henderson** funda en EEUU el denominado *Laboratorio de Fatiga de Harvard*. En principio su investigación se centró en el estudio de la Fisiología del Ejercicio y especialmente la influencia del stress ambiental sobre el funcionamiento del organismo. Mas tarde este laboratorio realizó estudios no solo en la fisiología del ejercicio sino también en la evaluación de la condición física.

La dirección del Laboratorio recayó en **David Bruce Hill**, que destacó por sus estudios sobre los factores limitantes del rendimiento humano en condiciones ambientales dispares. De igual forma realizó estudios sobre el metabolismo, el transporte de gases y el equilibrio ácido-base durante el esfuerzo.

Fue clausurado en 1947 aunque su influencia en la evolución de la Fisiología del ejercicio alcanzó tanto a los EEUU como a Europa. Una gran parte de sus

investigadores se trasladaron a otras Universidades Europeas y Americanas fundando nuevos laboratorios muchos de los cuales han llegado a nuestros días.

Este laboratorio supuso un esfuerzo muy notable para el desarrollo de esta ciencia. En 1948 se crea la revista Journal of Applied Physiology por la American Physiological Society, que pronto se convierte en la mejor revista de fisiología del ejercicio. En 1954 se crea el American Collage of Sports Medicine, y en 1969 se inicia la publicación de la revista *Medicine and Science in Sport and Exercise.*

El Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo en Europa

En Europa también existe un gran interés por la fisiología del ejercicio.. El primer gran fisiologo danes fue **Peter L. Panum**. Con Panum trabajó posteriormente **Christian Bohr** que destacó por sus estudios sobre el trasporte de gases por la sangre y el intercambio de gases. Su principal discipulo fue **August Krogh** que continuó junto a su mujer los trabajos de Bohr demostrando que el intercambio de gases se produce por difusión y no por secreción como creía Bohr. También hay que destacar por esa epoca a **Johanes Lindhard** (1870-1947), profesor de teoría de gimnasia en la Universidad de Copenhague. En 1920 Lindhard y Krogh demostraron que el cociente respiratorio se puede utilizar para determinar la oxidación de las grasas y de los hidratos de carbono.

Posteriormente **Erik H. Christensen** mantuvo contacto con el Laboratorio de Hardvard y a su regreso a Escandinavia ocupó la primera cátedra de Fisiología en el Colegio de Educación Física de Estocolmo.

Con Christensen se formó **Peter O. Astrand**, autor de varios test de evaluación de la condición física y autor de diversos libros de texto. Al jubilarse Christensen pasó a ocupar la cátedra de fisiología. Otro de los discípulos de Christiansen fue **Bergt Saltin**, uno de los investigadores mas prolífico sobre fisiología del ejercicio del pasado siglo. Su primer trabajo analiza longitudinalmente los efectos del entrenamiento de resistencia y de la inactividad sobre el VO2max. También podemos destacar sus estudios sobre las adaptaciones metabólicas y cardiovasculares a distintos tipos de entrenamiento, los efectos de la hipertermia de esfuerzo y de la deshidratación sobre la respuesta cardiovascular y metabólica al esfuerzo, etc.

Fisiología del ejercicio en el caballo

Las investigaciones sobre la Fisiología del ejercicio en el caballo, se empezaron a principio del siglo pasado con los trabajos del eminente fisiólogo veterinario **Sir Frederic Smith** sobre diversos aspectos de la fisiología del caba-

llo, especialmente en lo relacionado con el gasto energético y la alimentación. A medida que se fue produciendo el declinar del caballo como animal de trabajo, disminuyeron los estudios realizados sobre la fisiología del ejercicio, no obstante, hay que destacar los trabajos de Brody y col. en la década de los treinta, sobre el consumo de oxígeno.

En la década de los años sesenta, **Steel** y colaboradores, prestaron especial interés al estudio del sistema cardiovascular. Estudiaron el electrocardiograma para medir indirectamente el tamaño del corazón, y usar este parámetro como medida de la capacidad atlética. Utilizaron el término "Herat Store", que lo definieron como la media de la duración del complejo QRS del E.C.G. en las tres derivaciones bipolares de los miembros I, II y III.

En esa década, también hay que destacar los trabajos realizados por **Sevestre y col**., donde intentaba correlacionar un posible estado de falta de condición física con algunas alteraciones del E.C.G. durante el esfuerzo.

El verdadero pionero en los estudios sobre fisiología del ejercicio en el caballo, fue el profesor **Sune Persson**, de la Universidad de Uppsala (Suecia), que en el años sesenta, comenzó los estudios sobre los factores que afectan la capacidad del ejercicio en el caballo trotón sueco y fue el primero en desarrollar y utilizar para estos estudios la cinta rodante de alta velocidad. Persson formó y dirigió un grupo de investigación del que proceden la mayoría de los investigadores actuales en todo el mundo. Su actividad investigadora ha dado lugar al resurgir de numerosos laboratorios de investigación en todo el mundo durante la década de 1970-80, estudiando la influencia del entrenamiento, nutrición, drogas y adaptaciones de los diversos sistemas orgánicos implicados en la mejora de la capacidad física.

El auge del interés de los estudios de la fisiología del ejercicio en el caballo, apareció a principios de la década de los años ochenta, con la celebración en Septiembre del año 1982 en Oxford (Inglaterra), del primer congreso internacional. **David Snow** fue el primer organizador de este evento, en el que se presentaron puestas al día de la mayoría de las áreas implicadas en la fisiología del ejercicio en el caballo. La conferencia se celebró durante tres días en los que se impartieron sesiones dedicadas al sistema cardiovascular, sistema respiratorio, músculo esquelético, nutrición, termorregulación y fluidos. Los trabajos presentados se publicaron en un libro que sirvió de referencia para el estudio de la fisiología del ejercicio.

A partir de aquí, la historia de la fisiología del ejercicio en el caballo esta ligada a la celebración cada cuatro años de estas reuniones donde se exponen los

trabajos mas recientes sobre el tema, y donde se intercambian opiniones entre los diferentes grupos de investigación.

El segundo Congreso se celebró en San Diego (USA), bajo la dirección del Prof. **Jerry Gillespie** de la Universidad de Kansas. Organizo un comité local para buscar fondos y organizó conferencias satélites con la American Association of Equine Practitioner usando a los conferenciantes principales. Este tipo de organización ha servido hasta la actualidad para el desarrollo de los siguientes congresos. Los trabajos de este congreso fueron publicados en un libro, lo que supuso una puesta al día sobre fisiología del ejercicio en el caballo.

El tercer congreso se celebró en 1990 en Uppsala (Suecia) bajo la organización del Prof. **Sune Persson** y esponsorizado por la Asociación de Carreras de Trotones Sueca. Se realizó conjuntamente con la organización de los I Juegos Ecuestres Mundiales, que desde entonces vienen celebrándose cada cuatro años. Supuso un reconocimiento a la labor del Prof. Persson, y de todo su grupo de investigadores

El cuarto congreso se celebro en Australia, en 1994, bajo la dirección del eminente Prof. **Reuben Rose** en reconocimiento a el gran auge de la fisiología del ejercicio desarrollado en ese país. Los trabajos presentados fueron publicados como suplemento especial de la prestigiosa revista de investigación sobre el caballo Equine Veterinary Journal, que a partir de entonces viene encargándose de la publicación de los trabajos presentados en los subsiguientes congresos.

Como reconocimiento a los grandes avances realizados por un grupo de investigadores japoneses en el campo de la fisiología del ejercicio en el caballo. Se decidió organizar el quinto congreso en Utsunomiya (Japon), en Septiembre de 1998, bajo la dirección de los profesores **Leo Jeffcot** como presidente del comité internacional y del japonés **Mikihito Tokuriki**, presidente del comité local.

Lexingtón fue seleccionada como sede del sexto congreso, en el año 2002, en reconocimiento como centro internacional de la cría del Pura Sangre Inglés, y del grupo de investigadores del Este de los Estados Unidos. El presidente del comité internacional fue el prestigioso profesor **Harold Hintz** y como presidente del comité local, el profesor de la Universidad de Ohio **Kennet Hinchcliff**.

El último de los congresos realizados ha tenido lugar en el pasado año 2006, en Fontainebleau, Francia, área famosa por las actividades ecuestres que se realizan en ese país. **Eric Barrey** (investigador del INRA francés), fue el organizador y presidente del comité local, correspondiéndole a **Briggitta Essen- Gustavson** de la Universidad de Uppsala y discípula del Prof. Persson, la presidencia del comité internacional.

La organización de estos congresos ha correspondido a los grupos de investigación mas importantes a nivel internacional, a los que habría que añadir el grupo del profesor **Peter Lekeux** en Bélgica, el grupo de la **Profa Reeta Poso** de la Universidad de Helsinki, al Prof. **David Marlin** de Inglaterra, y a nuestro grupo integrado por investigadores del departamento de Fisiología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba,En España los estudios sobre la Fisiología del Ejercicio empezaron con la realización de mi tesis doctoral, analizando los cambios electrocardiográficos producidos por diversas modalidades de ejercicio, tanto de los caballos provenientes de Concursos de Salto (**Castejón, F.M**., 1978, 79 y 81), como del ejercicio efectuado con las pruebas del Concurso Completo de Enganches (**Castejón. F.M**. y col., 1983), así como las variaciones de frecuencia cardiaca y respiratoria durante una prueba de resistencia (**Castejón, F.M**. y col., 1985[a]). También se analizaron los cambios en la bioquímica plasmática y, más concretamente, en los valores de actividad de diversas enzimas plasmáticas relacionadas con el metabolismo energético, en caballos que realizaban distintos tipos de esfuerzo (**Sainz y col**., 1976), así como de otros parámetros plasmáticos (**Castejón y col**., 1985[b]) y de las variaciones de la frecuencia cardiaca y respiratoria (**Castejón F.M. y cols**., 1985[a]). Por otro lado, se investigó la diferente utilización de diversos sustratos energéticos cuando se realizaban ejercicios de diferente intensidad y duración (**Castejón F.M. y cols**., 1990).

A partir de los años noventa se produjo una gran expansión comercial del caballo P.R.E. por la que se empezó a despertar el interés por conocer cual era su capacidad funcional, con el objetivo de incorporarlo a la práctica de las diversas disciplinas ecuestres.

La valoración del estado de forma física de un caballo se ha llevado a cabo tradicionalmente de un modo subjetivo por el jinete o por el entrenador, siguiendo

criterios basados en la experiencia personal, pero sin base científica. Por otro lado, la verdadera valoración del potencial atlético se efectúa cuando el animal ha sido entrenado y es comparado con otros animales de nivel deportivo semejante.

El caballo P.R.E. que es criado para practicar pruebas deportivas, también es susceptible de emplear criterios de selección previos a la entrada en competición de tal forma que se escojan los animales más dotados físicamente para el deporte. Por esto se planteó un trabajo en colaboración con los Servicios de Cría Caballar del Ministerio de Defensa, para estudiar posibles criterios de valoración de los reproductores Españoles y Árabes que eran criados en las Yeguadas Militares de Vicos, en un principio y de Anglo-Árabes en Écija, posteriormente.

Para poder comparar animales de diversos tipos y en diversas condiciones, se han ideado test de ejercicio estandarizados de diversos tipos. En nuestros estudios realizábamos un test de ejercicio de intensidad creciente en pista diseñada en la misma yeguada, que nos permitía ejercitar a todos los caballos en las condiciones más parecidas posibles. Se eligieron cuatro niveles de ejercicio a velocidades de 15, 20, 25 y 30 km/h, con una duración de cada nivel de cinco minutos y un período de reposo de otros cinco minutos entre niveles, tomándose muestras de sangre después de cada nivel.

Tras la concesión del proyecto de investigación "Valoración morfofuncional en el plan de mejora del P.R.E. caballo Andaluz", en el año 1999, se adquirió una cinta rodante, con lo que a partir de entonces se han venido realizando estudios sobre la fisiología del ejercicio en condiciones laboratoriales.

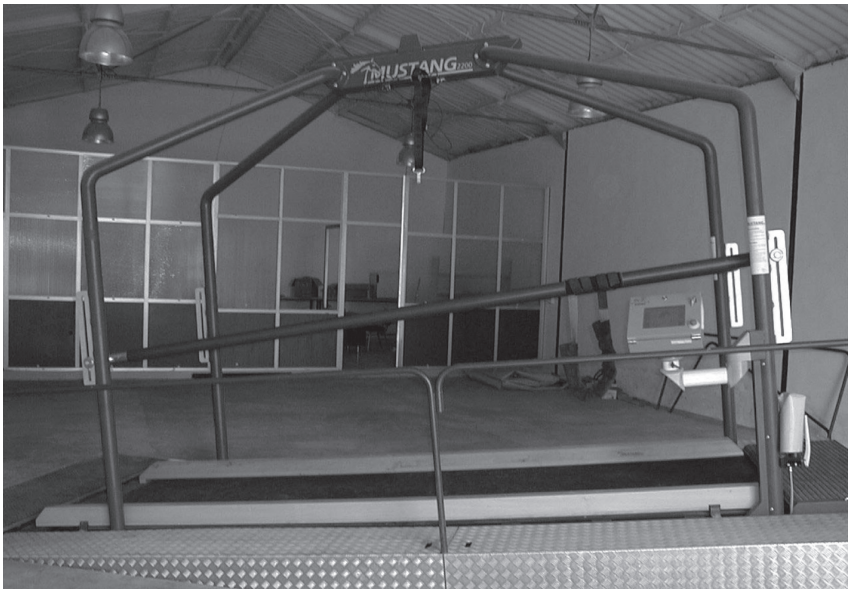
Se han realizado test de ejercicio en cinta rodante a más de 150 caballos, de P.R.E. con lo que se han establecido índices de valoración funcional que nos permiten la actualidad seleccionar aquellos animales más adaptados para el deporte.

También tenemos un Convenio de Colaboración firmado con la Asociación Española de Criadores de Caballos Anglo-Árabes para realizar estudios de fisiología del ejercicio que nos permitan detectar precozmente aquellos animales más aptos para realizar diferentes pruebas de esfuerzo.

Para realizar una valoración correcta, se deben tener en cuentas las adaptaciones fisiológicas de los principales sistemas orgánicos implicados en la realización de un ejercicio, los cuales iremos desarrollando a continuación.

SISTEMA CARDIOVASCULAR

Su estudio se centra en el análisis de la frecuencia cardiaca y de su evolución con el ejercicio. La evaluación de este parámetro permite medir de un modo indi-



Cinta rodante en el Centro de Fisiología del Ejercicio de la Universidad de Córdoba

recto la funcionalidad cardiovascular, además de indicar la intensidad absoluta de la actividad física realizada.

La frecuencia cardiaca evoluciona de modo afín a la velocidad de ejercicio, hasta el momento en el que alcanza su valor máximo, perdiéndose la linealidad de la relación. Dos índices de funcionalidad pueden calcularse a partir de esta regresión: V150 y V200, referentes a las velocidades de ejercicio que inducen frecuencias cardíacas respectivas de 150 y 200 lat/min. V150 estima la capacidad circulatoria en caballos, así como también en humanos, en donde se ha relacionado este índice con el volumen contracción cardíaco, o mejor aún, con el pulso de oxígeno, esto es, con la capacidad de la sangre para transportar oxígeno en cada latido (PERSON, 1968). V200 es equiparable al umbral anaerobio, concepto que se refiere a la transición metabólica desde un uso preferencial de las rutas glucolíticas anaerobias frente a las oxidativas. Por esta relación, V200 representa la capacidad aerobia máxima, estando relacionado positivamente con el consumo máximo de oxígeno.

Los resultados de estos estudios nos indicaron unos valores menores de estos índices para los caballos P.R.E. cuando se comparaban con animales de otras razas que eran ejercitados en las mismas condiciones (**Castejón F.M. y col**., 1984). Al estar relacionados estos índices con la velocidad, se implicaba muy directamente el patrón locomotor en la explicación de estos resultados, ya que esta raza tiene

como característica una gran facilidad para todos los mecanismos locomotores que impliquen un alto grado de "reunión" en sus ejercicios. Esto dio pié para la realización de un grupo de trabajos que serán comentados posteriormente.

El estudio de los índices V150 y V200, también fue empleado para investigar el estado de forma de los caballos del equipo español de Concurso Completo que fueron a la Olimpiada de Atalanta. En este estudio se investigaron nueve caballos divididos en dos grupos. El grupo A formado por 6 caballos antes de realizar un período de entrenamiento y el grupo B formado por 5 caballos que habían realizado cuatro meses de entrenamiento. A estos animales se les realizaron test de ejercicio de acuerdo con su grado de entrenamiento y se les aconsejó el tipo de entrenamiento adecuado a su nivel de forma física (Muñoz y col., 1998).

HEMATOLOGÍA

Su importancia en el campo de la Fisiología del Ejercicio se debe a su vínculo con la capacidad para transportar oxígeno. No obstante, su papel en la predicción del potencial físico de un caballo se ve limitada por el reservorio esplénico. Aunque el bazo parece actuar como reserva de glóbulos rojos en diversas especies animales, es en los équidos donde logra un desarrollo mayor, de manera que es capaz de almacenar hasta la mitad de los hematíes circulantes en condiciones de reposo.

Durante un ejercicio se suele apreciar una elevación del número de glóbulos rojos, concentración de hemoglobina y valor hematocrito. Los motivos implicados varían según el tipo de ejercicio, aunque en una prueba funcional probablemente resulta de la esplenocontracción y de la pérdida de fluidos corporales (**COHEN y cols**., 1993).

La relación con el rendimiento físico es algo paradójica y en la bibliografía se encuentran opiniones contradictorias. Un incremento en el valor hematocrito y en la tasa hemoglobínica favorecería el transporte de oxígeno, como de hecho ocurre. Sin embargo, un aumento excesivo de estos parámetros podría originar una hiperviscosidad sanguínea, impidiendo el flujo de sangre a través del lecho capilar muscular (**BOUCHER y cols**., 1985; **MUÑOZ y cols**., 1997). Así **McCLAY y cols**, (1992) relacionaron el incremento en el valor hematocrito y por consiguiente, en la viscosidad sanguínea, con una patología relativamente frecuente en caballos Pura Sangre Inglés, la hemorragia pulmonar inducida por el ejercicio.

En el caballo andaluz, se han estudiado las modificaciones hematológicas inducidas por el ejercicio (**Rubio y col**. 1994), las alteraciones hematológicas como un índice de tolerancia al ejercicio en comparación con otras razas de caballos (**Rubio**

y col., 1984[b]), la influencia de ejercicios de diferente intensidad en sementales (**Rubio y col**., 1996) y en potros (**Rubio y col**., 1995), así como el efecto de su ejercicio intenso sobre parámetros hematológicos y plasmáticos (**Rubio y col**., 1998).

METABOLISMO

El metabolito más contemplado en la literatura es el lactato, proveniente de la actuación de las rutas glucolíticas anaerobias y las posterior reducción del piruvato por la acción de la enzima lactato deshidrogenada o LDH. Aunque es producido en las fibras musculares, sobre todo en las de contracción rápida, posteriormente difundirá hacia el torrente sanguíneo. Su acumulo en plasma en respuesta a un ejercicio ha sido considerado en atletas humanos y equinos como un indicador del estado de forma física y nivel de entrenamiento, al reflejar una llegada insuficiente de oxígeno al músculo.

Sin duda alguna, las características del esfuerzo delimitarán la magnitud de la respuesta glucolítica, por lo que se han introducido índices de funcionalidad que representan la producción de lactato a una intensidad concreta de ejercicio. Estos índices, obtenidos por extrapolación de la curva exponencial lactato-velocidad son VLA2 y VLA4, velocidades de ejercicio a concentraciones plasmáticas de lactato de 2 y 4 mmol/l. Ambos términos son conocidos como umbral aerobio y anaerobio respectivamente. El primero de ellos hace referencia al límite superior de un metabolismo exclusivamente aerobio. El segundo, como se ha comentado en párrafos anteriores, refleja la intensidad de ejercicio a partir del cual hay una clara predominancia de los procesos anaerobios frente a los oxidativos. (KINDERMANN y cols., 1979).

De modo genérico, se admite que VLA4 está relacionado positivamente con el rendimiento físico (**PERSSON**, 1983; **ERICKSON** y cols., 1987; **CASTEJÓN y cols**., 1994; **ROSE y cols**., 1995; MUÑOZ y cols, 1998), aunque hay algunos investigadores que discrepan con relación este hecho (**BAYLY y cols**., 1987; **HARKINS y cols**., 1993).

Por otro lado se sabe que la frecuencia cardiaca está relacionada exponencialmente con los valores de lactato después de un ejercicio, con lo que ambos parámetros son marcadores de la intensidad del ejercicio y del grado de forma física individual. Experimentalmente **Sloet y col**. demostraron que los valores de frecuencia cardíaca durante la infusión de una solución salina eran menores que durante la infusión de lactato. Este hecho indica que el lactato incrementa los valores de frecuencia cardiaca de forma significativa.

De la relación entre frecuencia cardiaca y lactato se derivan otros dos índices, que también pueden ser usados para valorar el estado de forma física y el grado

de entrenamiento, HRLA2 y HRLA4, que son la frecuencia cardíaca alcanzada cuando la concentración de lactato en un ejercicio inducido alcanza valores de 2 y 4 mmol/l, respectivamente.

Los resultados obtenidos en el caballo P.R.E., muestran valores menores de VLA2 y 4, al igual que ocurría con los índices V150 y V200, a los obtenidos por otros caballos pertenecientes a otras razas en las mismas condiciones experimentales, pero no de HRLA2 y 4. La explicación a este hecho, también puede estar relacionada con el patrón locomotor (**CASTEJÓN y col**., 1994), hecho que será comentado mas adelante.

También se ha estudiado el efecto del entrenamiento sobre los índices funcionales. Como consecuencia del entrenamiento se produce un aumento de la capacidad aerobia al estimular las rutas del metabolismo aerobio. De esta forma se han observado aumentos tanto en VLA2y 4 como en HRLA2 y 4 (**AGÜERA E.I. y col**., 1995).

En un estudio sobre los caballos del equipo español de Concurso Completo de Equitación, se emplearon los índices VLA2 y 4, como indicativos del estado de forma física, y por lo tanto para aconsejar el entrenamiento adecuado ha llevar a cabo en estos animales (**MUÑOZ y col.,** 1998).

SISTEMA MUSCULAR

El objetivo último de las adaptaciones a un esfuerzo físico es el aporte de oxígeno a la velocidad requerida por un músculo muy activo. No obstante, además de un correcto funcionamiento cardiovascular, la capacidad del músculo para extraer el oxígeno desde la hemoglobina es crucial. De este modo, la falta de capacidad aerobia en el seno muscular se erige como uno de los factores limitantes de mayor peso del rendimiento deportivo (**McMIKEN,** 1983). El músculo es un tejido heterogéneo, compuesto por fibras con distinta capacidad metabólica y contráctil (**BROOKER y KAISER**, 1970). Básicamente existen dos grandes poblaciones fibrilares, *tipo I o de contracción lenta*, con un metabolismo oxidativo y *tipo II o de contracción rápida*, con un metabolismo más glucolítico (**ROME y cols**., 1990; **ESSÉN-GUSTAVSSON y cols**., 1997).

El análisis de las actividades de enzimas clave en las rutas metabólicas es un procedimiento habitual para el estudio de las capacidades oxidativa y glucolítica del músculo. En este contexto, las enzimas se categorizar en dos grandes grupos. El primero de ellos, integra a las enzimas aerobias, como la *3-OH-acil coenzima A deshidrogenada (HAD), citrato citasa (CS), malato deshidrogenada (MDH) y sucinato deshidrogenada (SDH)*. La primera de ellas controla el flujo de sustratos a través

Toma de biopsia en el músculo glúteo medio

de la oxidación de los lípidos, desde los ácidos grasos hasta acetil CoA. Las tres restantes intervienen en los procesos de oxidación en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, donde se generan los electrones que entrarán en la cadena de la fosforilación oxidativa. El segundo grupo de enzimas, las "anaerobias", engloban a la *hexokinasa (HK), la glucógeno fosforilasa (PHOS), la fosfofructokinasa (PFK) y la lactato deshidrogenada (LDH).* La HK actúa en la fosforilación de la glucosa de origen extracelular para su integración en el metabolismo fibrilar. La PHOS escinde el glucógeno en unidades glucosídicas, la PFK es la enzima de la regulación de la glucolisis y finalmente, la LDH cataliza la reducción del piruvato hacia lactato (**MUÑOZ y cols.,** 1998).

El análisis de la actividad enzimática ha sido objeto de nuestro estudio para el caballo español así como para el árabe en los trabajos que dieron como fruto la tesis doctoral del **Dr. Blanco** (1995), bajo la dirección del Prof. **Castejón**.

En este sentido, se entrenaron 16 caballos de raza española y 9 de raza árabe todos con tres años de edad durante un período de catorce semanas mediante ejercicios esencialmente aerobios, y en un segundo período de 4 meses, con un ejercicio de entrenamiento de intervalos de mayor intensidad. Los caballos fueron muestreados al empezar el entrenamiento, al terminar cada período de ejercicio así como tras tres meses de un período de desentrenamiento. Tras el primer período de entrenamiento y de acuerdo con lo esperado, se detectó un incremento de la actividad de las enzimas HAD y CS y disminución de la actividad de las enzimas glucolíticas. Así mismo se detectó una disminución de la concentración de glucógeno y un aumento de la concentración de triglicéridos. Con el segundo período sólo se detectaron adaptaciones de la actividad de las enzimas PHOS y

HK. El desentrenamiento afectó exclusivamente a la actividad de la HAD y la concentración de glucógeno.

PATRÓN LOCOMOTOR

Es lógico suponer que el patrón de locomoción es un factor importante a tener en cuenta en el rendimiento atlético. En este contexto, los parámetros contemplados más profundamente son la duración, frecuencia y longitud de tranco. Su importancia deriva de la influencia sobre el gasto energético. En el año 1981. **HOYT y TAYLOR** sugirieron que existe una velocidad al paso, trote y galope a la cual el consumo de energía se minimiza, siendo ésta elegida preferentemente por el animal. Dicha velocidad óptima deriva de una combinación ventajosa entre longitud y frecuencia de tranco.

PERSSON y cols., (1991) fueron los primeros en analizar la relación entre locomoción y otras variables fisiológicas, tales como V200, consumo de oxígeno, concentración total de glóbulos rojos, acumulo de lactato y VLA4. Su principal conclusión fue que la longitud de tranco era el principal determinante del consumo de energía aerobia en caballos trotones Standardbred durante un ejercicio submáximo. Un segundo estudio fue realizado por **RONÉUS y cols**., (1995) en animales de la misma raza, si bien, siendo sometidos en este caso a un ejercicio de intensidad máxima. Este trabajo puede ser resumido diciendo que los potros con una longitud de tranco y duración de la fase de apoyo inferiores producen más lactato, al mismo tiempo que poseen un porcentaje superior de fibras de contracción rápida en sus músculos propulsores.

Las adaptaciones fisiológicas y metabólicas al ejercicio en relación al patrón locomotor, difieren en el caballo español con otras razas, así como sus adaptaciones a un entrenamiento (**MUÑOZ y col**., 1997).

Se han realizado varios estudios para relacionar el patrón locomotor con las adaptaciones circulatorias y metabólicas con el ejercicio y el entrenamiento (**MUÑOZ y col**., 1998 y 1999). Se observaron que los valores de lactato y de frecuencia cardiaca eran superiores en el grupo de caballos de raza española en comparación con los caballos anglo-árabes y que esto se relacionaba con mayores valores del componente vertical del tranco en el grupo de caballos españoles, tanto en los ejercicios realizados al trote como al galope. Se concluye que el mayor componente vertical del tranco, limita la longitud del tranco, por lo que al intentar alcanzar una mayor longitud del tranco que permita mantener una determinada velocidad se produce un mayor gasto energético que se traduce con un aumento de los valores de frecuencia cardíaca y de lactato. Este hecho puede influenciar los índices de VLA2 y 4, pero no los índices de HRLA2 y 4, con lo que se com-

prueba lo sugerido anteriormente en el trabajo en que se comparaban las razas españolas, árabe y anglo-árabe (**CASTEJÓN F.M**. y col., 1994).

En relación con los estudios sobre el patrón locomotor, se ha hecho un trabajo para relacionar variaciones en parámetros hematológicos y metabólicos en ejercicios de resistencia con posibles alteraciones del patrón locomotor. Este estudio fue objeto de la tesis doctoral presentada por Dª **Inmaculada Cuesta Bertomeu** bajo la dirección de las **Dras. Riber y Muñoz** (Cuesta I., 1999). En este trabajo se estudiaron 80 caballos cruzados con edades comprendidas entre los 6 y los 16 años, que competían en diferentes pruebas de Raid (resistencia). Comparando la duración del tranco en ambos bípedos, derecho e izquierdo, se calculó el índice de simetría al trote (IDS), que permitió clasificar a los animales en dos grupos, simétricos y no simétricos. La relación entre el índice de simetría con parámetros hematológicos y metabólicos se perfiló como un método muy útil para diferenciar la fatiga fisiológica de la sobrecarga funcional, que contribuiría al desarrollo de claudicaciones. De aquí se propuso el uso del IDS en el curso de competiciones ecuestres, para el diagnóstico clínico de cojeras y diferenciación de casos extremos de fatiga periférica.

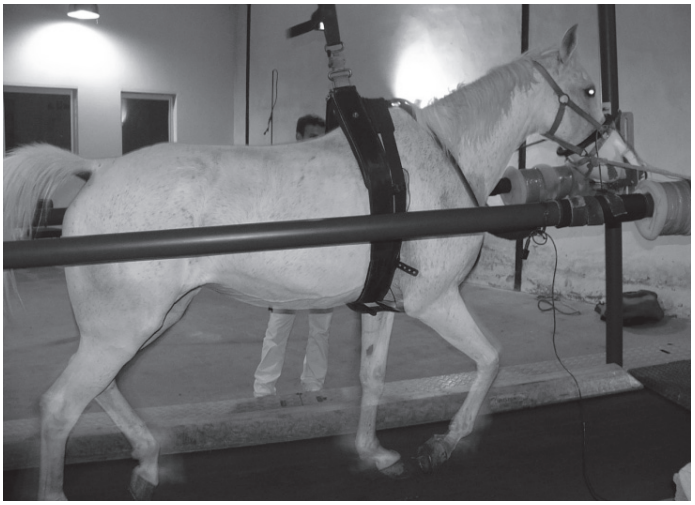
SISTEMA RESPIRATORIO

Valores respiratorios

El poder oxidativo de un caballo puede predecirse por la medida del *consumo de oxígeno (VO_2)* y la *producción de $C0_2$ (VCO_2)* mediante una máscara respiratoria. Se ha observado una fuerte correlación positiva entre $V0_2$ y el rendimiento físico en caballos de carreras Pura Sangre Inglés y en trotones Standardbred

A partir del conocimiento de la relación existente entre la capacidad de consumo de O2 (VO2) y un mayor potencial para los esfuerzos de resistencia aeróbica, han sido muchos los métodos que han pretendido medir el VO2, así como la producción de CO2 (VCO2). El consumo máximo de oxígeno (VO2 max) como fundamento fisiológico de la capacidad de rendimiento en resistencia, se puede considerar que es el valor más representativo de esta cualidad física. Su evaluación se realiza objetivamente en ml/minuto en fu nción de las características del esfuerzo, o en función del peso corporal (VO2/k.p.v.). Un valor alto representa una condición favorable para las competiciones de resistencia en general con predominancia aeróbica.

La medición en tiempo real ("respiración a respiración") de las concentraciones de O2 mediante "célula de zirconio" y del CO2 por medio del "doble haz de infrarrojos", y la posibilidad de procesamiento inmediato de los mismos gracias



Test de ejercicio en cinta rodante utilizando un estgoespirómetro Cortex Biophysiks

a la existencia de "software" específicos, han permitido tener una información de los acontecimientos fisiológicos que tiene lugar en el intercambio de gases en el mismo momento que están ocurriendo. **Es importante resaltar que esta tecnología la poseen contados centros en el mundo, y es utilizada por primera vez en España en este laboratorio**. Mediante esta técnica se obtiene el O2 consumido y el CO2 producido en cada momento del esfuerzo, lo cual ha supuesto un avance fundamental dentro de la fisiología del esfuerzo, puesto que permite conocer la respuesta fisiológica al ejercicio físico y la adaptación cardio-respiratoria en relación a los distintos incrementos de carga que el esfuerzo tiene y observar y evaluar cual es la velocidad de adaptación al mismo, la recuperación, etc. La medición de los parámetros gaseosos descritos junto con los parámetros ventilatorios, también en tiempo real, ha propiciado que dentro de la Ergometría en general adquiera personalidad propia la Espirometría de esfuerzo llamada **ergoespirometría**.

Mediante la determinación del consumo de O2 (VO2), y producción de CO2 (VCO2), se establece la relación que existe entre ambos (VCO2/VO2) denominada "cociente respiratorio" (RQ). Con el análisis de la última fracción del aire espirado se determinan las presiones parciales de O2 (PETO2) y CO2 (PETCO2), las cuales son indicativas de la concentración de estos gases a nivel alveolar. Estableciendo relación entre parámetros ventilatorios y gaseosos se obtienen datos como los equivalentes respiratorios de O2 y CO2 (VE/VO2 y VE/VCO2), que informan sobre la utilización metabólica del aire inspirado.

Actualmente se sabe que la acidosis metabólica que tiene lugar durante ejercicios intensos, es en realidad consecuencia del intercambio de gases a nivel celular y por lo tanto puede ser evaluada mediante el análisis del intercambio de gases a nivel pulmonar. En principio, para la determinación de dicho umbral se utiliza la pérdida de la linealidad en la ventilación pulmonar (VE), coincidente con un incremento de la producción de CO2 (VCO2) junto al consumo de O2 (VO2), siendo actualmente la técnica que plantea mejores perspectivas.

Respuesta respiratoria

La medida del consumo de oxígeno mediante la máscara ergoespirométrica, es la forma mas directa de medir el rendimiento al ejercicio de un animal, ya que nos indica la capacidad de usar oxígeno durante un ejercicio. A mayor capacidad de usar oxígeno, mayor capacidad aerobia, con lo que hay mayor capacidad de realizar un ejercicio sin que aparezca la fatiga muscular.

El test ergoespirométrico consiste en un test de intensidad creciente, donde se analiza la curva de consumo de oxígeno conjuntamente con la producción de anhídrido carbónico. Se considera que un ejercicio es aerobio cuando la curva de consumo de oxígeno es superior a la de anhídrido carbónico. El punto en que se cruzan las dos curvas es el punto en que el cociente respiratorio es uno, se denomina umbral aerobio y estaría relacionado con el indice VLA2 de la curva de lactato. El ejercicio se considera anaerobio, cuando la producción de anhídrido carbónico se hace significativamente superior a la de producción de oxigeno, con lo que la curva de anhídrido carbónico se separa significativamente de la curva de oxígeno, ese punto se denomina umbral anaerobio y estaría relacionado con el indice VLA4 de la curva de lactato. La zona que se encuentra entre el umbral aerobio y el anaerobio se denomina zona de transición.

Los caballos que poseen un umbral aerobio elevado son caballos adaptados a ejercicios de resistencia (Raid), los que tienen un umbral anaerobio alto son caballos adaptados a ejercicios de velocidad (carreras de hipódromo), y los que tienen una zona de transición muy amplia son caballos adaptados a ejercicios mixtos (concurso completo de equitación ó concurso de enganches).

Con estas técnicas podemos discriminar que caballo es mas apto para las diferentes disciplinas deportivas, en que estado de forma se encuentra, y decidir que tipo de entrenamiento es el mas aconsejable emplear en cada caso concreto.

En la actualidad estamos asesorando a un gran número de jinetes y entrenadores de las diversas disciplinas con lo que el nivel deportivo en el sector hípico podrá verse incrementado en un futuro.

La labor que queda por hacer es todavía muy grande, el reto a conseguir se nos hace algunas veces inalcanzable, pero el campo de la investigación en la fisiología del ejercicio en el caballo es tan apasionante, que estamos dispuestos a continuar la labor mientras nos acompañen las fuerzas. Desde aquí quiero invitar a que se una a nosotros todo aquel que este interesado en la mejora del caballo en nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

Barrey, E.; Auvinet, B.; Courouce, A. (1995). Evaluation of race trotters using an accelerometric device. Equine Vet. J. Suppl. 18: 156-160.

Billart, V.; Auvinet, B.; Slawinsky, J.; Ponsot, E.; Coureau, C.; Koralsztein, J.P.; Barrey, E. (1997). Locomotion de l'athlete humain de demi-fond et du trotteur a la vitesse correspondent au serie lactique. EquAthlon 29: 16-20.

Brooke, M.H.; Kayes, K.K. (1970). Muscle fibre types: How many and what kind? Arch. Neurol. 23: 369-379.

Castejón, F.M. (1978). Variaciones del electrocardiograma equino durante una prueba de esfuerzo. Hygia Pecoris, 5: 101-127.

Castejón, F.M. (1979). Evolución de la onda T del electrocardiograma equino en animales sometidos a diferentes esfuerzos. Hygia Pecoris. 10:61-68.

Castejón, F.M. y col. (1981). Estudio del auriculograma y sus variaciones durante el esfuerzo. Hygia Pecoris, 3: 31-45.

Castejón, F.M. y col. (1983). Efecto del ejercicio sobre el electrocardiograma en el caballo andaluz. Archivos de Zootecnia, 123: 145-158.

Castejón Montijano, Francisco. Memoria de Cátedra. Universidad de Córdoba. Enero de 1983.

Castejón, F.M. y col. (1985[a]). Variaciones de frecuencia cardíaca y respiratoria inducida por el ejercicio en el caballo. Medicina Veterinaria, 10: 493-499.

Castejón, F.M. y col. (1985[b]). Estudio de diversos parámetros plasmáticos en caballos sometidos a un esfuerzo prolongado. I Jornadas Técnicas Nacionales sobre el caballo. Expoaviga 85. Barcelona.

Castejón, F.M. y col. (1991). Influencia de la intensidad del ejercicio en la utilización del sustrato energético en el caballo andaluz. Revista de Investigación y Documentación sobre Ciencias de la Educación Física, 18: 78-84.

Castejón, F.; Rubio, D.; Tovar, P.; Vinuesa, M.; Riber, C. (1994). A comparative study of aerobic capacity and fitness in three different horse breeds (Andalusian, Arabian and Aglo-Arabian). J. Vet. Med. A 41: 645-652.

Castejón, F. M.;. (1995). Determinación de la capacidad física y control de entrenamiento. En: El caballo Español. Ed. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Pp. 133-140.

Castejón, F.M. y cols. Fisiología del ejercicio en el caballo. I Jornadas de investigación. Facultad de Veterinaria. Universidad de Córdoba. 368-377. 2001

Clayton, H.M. (1995). Physical fitness for the equine athlete. Equine Vet. Educ. 7 (5): 264-269.

Cohen, N.D.; Rousset, A.J.; Lumsden, J.H.; Cohen, A.C.; Grift, E.; Lewis, C. (1993). Alterations in fluid and electrolyte balance in Thoroughbred racehorses following strenuous exercise during training. Can J. Vet. Res. 57: 9-13.

Escribano, B.M; Castejón, F.M.; Vivo, R.; Agüera, E.I.; Muñoz, A.; Rubio, M.D. (1995). Respuesta hemática en potros Pura Raza Española sin entrenar sometidos a un ejercicio de intensidad creciente. Med. Vet. 12 (4): 257-265.

Essén-Gustavsson, B.; Ronéus, N.; Pösö, A.R. (1997). Mretabolic response in skeletal muscle fibres os Standardbred trotters alter racing. Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Ciol. 117 (3): 431-436.

Hoyt, D.F.; Taylor, C.R. (1981). Gait and the energetic of locomotion in horses. Nature 292: 239-240.

Kinderman, W.; Simon, G.; Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for determination of workload intensities during endurance training. Eur. J. Appl. Physiol. 42: 25-34.

McMiken, D.F. (1983). An energetic basis of equine performance. Equine Vet. J. 15(2): 123-133.

Muñoz, A. (1997). Evaluación de la capacidad de rendimiento físico en caballos de diversas razas mediante índices de funcionalidad. Respuesta a un entrenamiento programado. En: Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Muñoz, A.; Santisteban, R., Rubio, M.D.; Vivo, R.; Agüera, E.I.; Escribano, B.M.; Castejón, F.M. The use of functional index to evaluate fitness in the Andalusian horse. J. Vet. Med. Sci. 59 (9): 747-752.

Muñoz, A.; Santisteban, R., Rubio, M.D.; Agüera, E.I.; Escribano, B.M.; Castejón, F.M. (1998). Locomotor, cardiocirculatory and metabolic adaptations to training in Andalusian and Anglo-Arabian horses. Res. Vet. Sci. 66: 25-31.

Muñoz, A.; Riber, C.; Santisteban, R.; Vivo, R.; Agüera, S. and Castejón, F.M. (1998). Investigation of standardized exercise test according to fitness level for Three-Day Event Horses. J. Equi. Sci. 9,1,1-7.

Persson, S.G.B. (1983). Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. En: Equine Exercise Physiology (Snow, D.H.; Persson, S.G.B.; Rose, R.J.; Eds.). Granta Editions. Cambridge, Pp: 441-457.

Persson, S.G.B. (1997). Heart rate and blood lactate responses to submaximal treadmill exercise in the normally performing Standardbred trotter. Age and sex variations and predictability from the total red blood cell volume. J. Vet. Med. A. 44: 125-132.

Persson, S.G.B.; Essén, B.; Lindholm, A. (1980). Oxygen uptake, red cell volume and pulse/work relation-ship in different stages of training in trotters. En: Proceedings of the 5th Meeting of the Acad. Soc. Large Animal Vet. Med. Pp: 34-43.

Rome, L.C.; Sosnicki, A.A.; Goble, D.O. (1990). Maximum velocity of shortening of three fibre types from horse soleus muscle: implications for scaling and body size. J. Physiol. 431: 173-185.

Rose, R.J.; King, C.M.; Evans, D.L.; Tyler, C.M.; Hodgson, D.R. (1995). Indices for exercise capacity in horses presented for poor racing performance. Equine. Vet. J. Suppl. 18: 415-421.

Rubio, M.D. y col. (1994). Modifications hematologiques indultes par l'exercise chez des chevaux andalou. Equathlon 6, 24: 22-24.

Rubio, M.D. y col. (1994b). Hematologic alterations as an index of exercise tolerante in different breeds of horses. The equine Athete. 7,4, 10-12.

Rubio, M.D. y col (1995). Comparative haematological study of two breeds of foals (Andalusian and Arab) subjected to exercise of progressive intensity. J. Vet. Med. Sci. 57, 2: 311-315.

Rubio, M.D. y col. (1996). Influence of trotting and galloping exercises on erytogram of andalusian horses stallions. J. Equine Vet. Sci. 16, 6: 249-253.

Rubio, M.D. y col. (1998) Auswirkungen auf plasma und blut im andalusischen pferd nach maximalem training. Tierarztl. Umschau, 53: 269-274.

Sainz, J. y cols (1976). Determinación de los valores normales de la actividad de diversas enzimas en el plasma sanguíneo: V. Transaminasas, VI. Lactodeshidrogenasa y VII. Creatinfosfoquinasa, en équidos deportivos sometidos a diferentes tipos de esfuerzo. Anales de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza. Pp 117-136.

Seeherman, H.J., Morris, E.A. (1990). Application of a standardized treadmill exercise test for clinical evaluation of fitness in 10 Thoroughbred racehorses. Equine Vet. J. Suppl. 9: 26-34.

Sevestre, J. (1964). Application de la telemetric a l'etude de electrocardiogramme de effort du cheval de sport. Comm 6ª reunion Societé Europenne de Chirugie Veterinaire. Lyon Septiembre.

Steel, J.D. (1963). Studies on the electrocardiogram of the race horse. Australian Med. Publishing Co, Ltd, Sydney.