

V A R I A

EXERCICE AT ALTITUDE — HISTORICAL REMARKS

By Ernst Jokl — Professor at the University of Kentucky — U. S. A.

The first to realize that animal life depends upon the availability of oxygen were Lavoisier, Priestley, and Scheele. In 1774, Lavoisier demonstrated that air contains a «pure» and a «noxious» portion; that candles burn and mice live only in the former; and that during exercise increased amounts of oxygen — the term was introduced by Lavoisier — are required. «It is noted», stated a report on his work by the *Academy of France*, «that M. Lavoisier has tested all his results by measure, by calculation, and by weight, a rigorous method which is, happily for the advance of science, beginning to become indispensable».

That air could be rendered suitable to rebreathing in closed circuits, provided water and carbon dioxide were absorbed from its expiratory fraction, had been known since 1682, when Stephen Hales of England presented his «continuous breathing unit»; he showed that expired air after being passed over potassium carbonate can be inspired again.

John Hunter, the British surgeon, proposed to use oxygen for resuscitation. In experiments with dogs, he removed sternum and portions of the ribs so as to bring the lungs into direct view. He reported that following application of oxygen through

EJERCICIO EN ALTITUDE — OBSERVACIONES HISTORICAS

Por Ernst Jokl — Profesor de la Universidad de Kentucky — EE. UU.

Los primeros que se dieron cuenta de que la vida animal depende de las disponibilidades en oxígeno fueron Lavoisier, Priestley y Scheele. En el año 1774, Lavoisier demostró que el aire contiene 2 componentes, uno «sano» y el otro «nocivo»; que las bujías sólo pueden arder y los ratones sólo pueden vivir en el primer componente; que durante un ejercicio son necesarias dosis de oxígeno — término introducido por Lavoisier — más elevadas. Un relato de la *Academia Francesa* sobre su trabajo afirmava: «Se nota que M. Lavoisier ha verificado todos sus resultados tomando medidas, haciendo cálculos y constatando pesos, un método riguroso que, con gran provecho para el progreso científico, se va haciendo indispensable».

Que el aire puede volver a ser respirable en circuito cerrado, a condicion que el agua y el anhídrido carbónico contenidos en el aire expirado sean absorbidos, es conocido desde 1682, cuando Stephen Hales, originario de *Inglaterria*, presentó su «unidad de respiración continua»; el demostró que el aire expirado, después de pasar sobre carbonato de potasio, puede ser aspirado de nuevo.

John Hunter, el cirujano británico, propuso el empleo de oxígeno para la reanimación. En experimentos realizados con perros, extirpó el esternón y partes de las costillas, a fin de poner los pulmones al descubierto. Ele relató que, después de

tracheal catheters «the colouring of the pulmonary blood changed promptly».

A portable apparatus to measure oxygen intake during exercise was devised by Theodor Schwann (1810-1882), a versatile investigator, who also described the histological structure of nerves, and the presence of pepsin in gastric juice. Schwann's «closed-circuit respirator» consisted of two cylinders, one of which contained compressed oxygen, the other an «absorption

introducir oxígeno mediante una sonda traqueal «la coloración de la sangre del pulmón cambió rápidamente».

Theodor Schwann (1810-1882), investigador versátil, construyó un aparato portátil para medir el volumen de oxígeno absorbido en el transcurso de un ejercicio y describió la estructura histológica de los nervios y la presencia de pepsina en el jugo gástrico. «El aparato respiratorio en circuito cerrado», de Schwann, estaba compuesto de dos cilindros; «uno de ellos con-



Alexander Von Humboldt
1761-1854



Nathan Zuntz
1847-1920



Adolf Loewy
1862-1936

chamber» for the purification of expired air. Originally, the respirator was designed for use by rescue teams in mines. Schwann reported that an adult man consumes 25.141 liters oxygen and expires 22.593 liters carbon dioxide per hour.

During the last quarter of the nineteenth century, research on gaseous metabolism was stimulated by the growing interest in aviation and mountaineering. In 1875, two Frenchmen, Crocé-Spinelli and Sivel, died during the flight of the balloon «Zenith». The venture had been prepared in co-operation with the physio-

tenía oxígeno comprimido e el otro una «cámara de absorción» para la purificación del aire expirado. Primeramente el aparato respiratorio había sido proyectado para ser utilizado en las minas por los equipos de socorro. Schwann relató que un hombre adulto inspira 25.141 litros de oxígeno y expira 22.593 litros de anhídrido carbónico por hora.

En el transcurso de lo último cuarto del siglo diecinueve, las investigaciones en el campo del metabolismo gaseoso fueron activadas por el creciente interés dado a la aviación y al alpinismo. En el año 1875, dos franceses, Crocé-Spinelli y Sivel, perecieron durante una ascensión en el globo «Zenith». La aventura había sido pre-

logist Paul-Bert (1833-1866), who was interested in the effect of lowered atmospheric pressure on the «vital functions of animals». In 1876, Bert constructed the first low-pressure chamber for human experiments. Oxygen bags were installed in the «Zenith» and connected with a «bubbling device» for breathing the gas. However, during the fateful balloon ascent, the amount of oxygen contained in the bags proved to be insufficient, and the bubbling device did not work. The preparatory investigations in Bert's laboratory had failed to reveal the insidious nature of the onset of the symptoms of anoxia. Also, Bert overrated the toxicity of oxygen since he was unduly impressed with reports that prolonged breathing of pure oxygen under high pressure — a distinctly unphysiological situation — exerts a deleterious effect on animals. He thereupon concluded that breathing oxygen even for brief periods under normal atmospheric pressure would be harmful, thus perpetuating an error due to a statement made 50 years earlier by Alexander von Humboldt who thought that inhalation of oxygen invariably caused damage to lungs and muscles.

In 1890, Zuntz (1867-1920) introduced the two-way valve principle to separate inspired and expired air, an important methodological advancement which facilitated measurement of ventilation and of oxygen consumption during rest and exercise. Zuntz and Geppert developed the first modern «Stoffwechsellapparat», which was used in many pioneering studies on gaseous metabolism in his laboratory at the *Landwirtschaftliche Hochschule in Berlin*. Zuntz co-operated with such able physiologists as Loewy, Schumburg, Magnus-Levy, and Rubner. The original model of the spirometric apparatus of Kestner and Knipping, from which modern ergometry evolved, was a modification of the

parada en colaboración con el fisiólogo Paul-Bert (1833-1866), a quien le interesaban los efectos de la baja presión atmosférica sobre las «funciones vitales de los animales». En el año 1876, Bert construyó la primera cámara de baja presión para realizar experimentos sobre el hombre. Sacos con oxígeno fueron colocados a bordo del «Zenith» y conectados a un «dispositivo de burbujas» para respirar el gas. Sin embargo, en el transcurso de esta fatal ascensión en el globo, el volumen de oxígeno contenido en los sacos se demostró insuficiente y el dispositivo de burbujas no funcionó. Las investigaciones preliminares realizadas en el laboratorio de Bert no habían revelado la naturaleza insidiosa del ataque de los síntomas de anoxia. Además, Bert dió demasiada importancia a la toxicidad del oxígeno, dado que quedó indebidamente impresionado por los relatos que declaran que la inspiración prolongada de oxígeno puro a alta presión — una situación claramente antifisiológica — ejercía una acción deletérea sobre los animales. De esta manera, llegó a la conclusión de que la respiración de oxígeno a una presión atmosférica normal, aún durante cortos períodos, era nociva, de este modo perpetuando el error debido a una declaración hecha 50 años antes por Alexandre de Humboldt, el cual creía que la inhalación de oxígeno provocaba invariablement daños en los pulmones y en los músculos.

En el año 1890, Zuntz (1867-1920) introdujo el principio de la válvula de doble efecto para separar el aire inspirado del aire expirado, progreso importante en la metodología que facilita las medidas de ventilación y de consumo de oxígeno, en reposo y durante los ejercicios. Zuntz y Geppert construyeron el primer moderno «Stoffwechsellapparat», el cual fue utilizado en su laboratorio de la *Landwirtschaftliche Hochschule* de Berlín durante los múltiples trabajos preliminares de investigación sobre el metabolismo gaseoso. Zuntz colaboró con fisiólogos hábiles, como Loewy, Schumburg, Magnus-Levy y Rubner. El modelo original del espirómetro de Kestner y Knipping que sirvió de base para el de-

Stoffwechselapparat of Zuntz and Geppert. Zuntz also devised the first treadmill for metabolic analyses during work performances of horses. With Loewy, Müller and Caspari, he undertook several Alpine mountain expeditions, the scientific results of which were summarized in 1906 in a magnificent volume «*Höhenwanderungen und Bergklima*».

An apparatus for recording respiratory movements (pneumograph) was perfected by the Italian physiologist, Angelo Mosso (1846 - 1910) who, prior to the turn of the nineteenth century, built the first high altitude research laboratory on the summit of Monte Rosa, the «*Campagna Regina Margherita*». He wrote two classical monographs on exercise at altitude, which included accounts of his interesting concept of «*acapnia*».

In 1850, Etienne Jules Marey of Paris (1830-1904) developed his «*pressure drum*» and «*sphygmograph*» apparatus for mechanical transmission and recording of arterial pulse. Prior to the introduction of electrocardiography, Marey's «*sphygmograph*» was used extensively to investigate the effect of exercise and training on cardiac rate and cardiac force. Modern electrocardiography has in fact not fully replaced sphygmography since it does not provide information on mechanical characteristics of cardiac action. To this shortcoming, Yandell Henderson of Yale University drew attention when, in 1911, he described results obtained during a research expedition to *Pike's Peak* in Colorado, 12,110' above sea level. Henderson, who was joined on this occasion by C. G.

sarrollo de la ciencia moderna de ergometría ha sido una modificación del «*Stoffwechselapparat*» de Zuntz y de Geppert. Zuntz también inventó la primera «*pista rolante*» para la analise metabólica durante el trabajo de cavallos. Con Loewy, Müller y Gaspari, Zuntz realizó varias excursiones

en alta montaña, de que los resultados científicos han sido resumidos en 1906 en un magnifico volumen «*Höhenwanderungen und Bergklima*».

Un aparato para registrar los movimientos respiratorios (pneumógrafo) fue perfeccionado por el fisiólogo italiano Angelo Mosso (1846-1910) el cual, antes del fin del siglo diecinueve, construyó en la cumbre del Monte Rosa el primero laboratorio de investigaciones a gran altitud, la «*Campagna Regina Margherita*». El escribió dos clásicas monografías referentes al ejercicio

en altitud que comprendiam relatos sobre su interesante concepción de la «*acapnia*».

En 1850, Etienne Jules Marey, de Paris (1830-1904) perfeccionó su «*tambor de presión*» y su esfigmógrafo, aparatos para la transmisión mecánica y para la registración del pulso arterial. El esfigmógrafo de Marey fue utilizado en gran escala para investigar los efectos del ejercicio y del entrenamiento sobre la fuerza y la frecuencia cardíacas antes de la inrtroducción de la electrocardiografía. La electrocardiografía moderna no ha, en efecto, completamente reemplazado el esfigmógrafo, debido a que este no da informaciones sobre las características mecánicas del trabajo cardíaco. En 1911, Yandell Henderson, de la *Universidad de Yale* llamó la atención sobre esta insuficiencia, quando describió los resultados obtenidos durante una expedición científica a la *Pointe Pike*, 12,110' acima del



Angelo Mosso
(1846-1910)

Douglas, E. C. Schneider and J. S. Haldane, obtained «recoil curves» recorded with the help of a «head-pelotte» which served as sensing transmitter for total body vibrations engendered by cardiac systole. The term «ballistocardiography», now used for the physiological phenomenon under reference, was introduced thirty years later

nivel del mar en el *Colorado*. Henderson, que fue en esta ocasión acompañado por C. G. Douglas, E. C. Schneider y J. S. Haldane, obtuvo «curvas diferidas» registradas mediante un receptor que transmitía la totalidad de las vibraciones del cuerpo provocadas por la sístola cardíaca. La expresión «ballistocardiografía» hoy en día



The *Pike's Peak* expedition of 1911: Douglas wearing a «Douglas gag» to collect expired air for the determination of the amount of oxygen consumed during climbing; Haldane standing behind him; Schneider kneeling and recording his respiration; Henderson taking samples of alveolar air

La expedición a la «*Cima del Pike*», en 1911: Douglas lleva un «saco de Douglas», para recoger el aire aspirado y determinar la cantidad de oxígeno consumido durante la ascension; atraz de él vemos a Haldane; Schneider recoge muestras del aire alveolar

L'expédition au *Cime du Pike* en 1911: Douglas porte un «sac de Douglas» pour recueillir l'air expiré et déterminer la quantité d'oxigène consommé pendant l'ascension; Haldane est derrière lui; Schneider prend des échantillons de l'air alvéolaire

by Isaac Starr, who had worked with Yandell Henderson in the early twenties.

empleada en los fenómenos fisiológicos en cuestión, fue introducida 30 años más tarde por Isaac Starr, que había colaborado con Yandell Henderson a principios de los años veinte.

The first clinician to realise the therapeutic importance of exercise at sea level and at medium altitudes was M. J. Oertel, a spa-physician in *Bozen* and *Meran*. During the eighties and nineties of the last century, Oertel introduced a training

El primero clinico que comprendió la importancia terapeutica del ejercicio al nivel del mar y en altitud media fue M. J. Oertel, medico hidrológico en *Bozen* y *Meran*. Durante los últimos veinte años del siglo pasado, Oertel introdujo un sistema

system called «terrain-curen», for the treatment of «weak heart muscles, poor pulmonary circulation and obesity». He supplied his patients with maps of *Meran* and its environs, together with individual instructions for daily walking and hill climbing. He also prescribed isometric and isotonic resistance exercises as well as introduced the «step test», using a special device which included a platform that descended and rose alternately as the patient exercised on it. Cardiac and respiratory rates, blood pressure and body temperature were recorded at rest and after exercise.

While working with A. Loewy in *Davos* in the early thirties, I introduced three new criteria for the evaluation of the effects of exercise at sea level and at altitude, *viz.*, hematological, immunological and neurological. As to the last, I studied the effect of reduced atmospheric tension upon reflex responses, an aspect of exercise physiology which has since assumed importance in clinical endocrinology and in space medicine, also.

With the standardization and automation of measuring devices, a new era of ergometry and, thus, also of important facets of altitude physiology, has been initiated.

Modern electronic computers allow instantaneous calculations and graphic recording of a multitude of respiratory, cardiovascular and other parameters.

de entrenamiento llamado «cura sobre el terreno» para el tratamiento de la «debilidad del músculo cardíaco, de la circulación pulmonar insuficiente y de la obesidad». Entregó a sus pacientes planos de *Méran* y de sus alrededores, así como instrucciones individuales para los paseos cotidianos y escalar la montaña. También les prescribió ejercicios isométricos e isotónicos de resistencia e introdujo el «step test», utilizando un aparato especial compuesto de una plataforma que descendía o se elevaba alternativamente mientras que el paciente se ejercitaba sobre ele. La frecuencia cardíaca y respiratoria, la presión sanguínea y la temperatura corporal se registraban en reposo y después del ejercicio.

A principios de los años treinta, mientras que trabajaba en *Davos* con A. Loewy, introduje tres nuevos criterios de evaluación de los efectos causados por el ejercicio a nivel del mar y en altitud, o sea, criterios hematológico, inmunológico y neurológico. Cuanto a este último he estudiado el efecto que una presión atmosférica baja sobre los reflejos; uno aspecto de la fisiología del ejercicio que ha tomado desde entonces una cierta importancia en endocrinología clínica y en la medicina del espacio.

Se abre una nueva era a la ergometría, así como a los aspectos importantes de la fisiología de la altitud, gracias a la estandarización y a la automatización de los instrumentos de medida.

Los calculadores electrónicos modernos permiten el cálculo y la reproducción gráfica instantáneos de una gran cantidad de parámetros; permiten el cálculo y la reproducción gráfica otros más.