

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
FACULTAD DE MEDICINA



TESIS DOCTORAL

VALORACIÓN FUNCIONAL DEL
SOLDADO DE UNIDADES DE ÉLITE DESPUÉS DEL
PERÍODO DE INSTRUCCIÓN BÁSICO,
EN LAS FUERZAS ARMADAS DE ESPAÑA



LUIS MIGUEL LÓPEZ MOJARES

Director: José López Chicharro
Codirector: Julio C. Legido Arce



ARCHIVO

Madrid
1997

D. José López Chicharro, profesor titular de Fisiología del Ejercicio de la E.U. de Enfermería, Fisioterapia y Podología de la Universidad Complutense de Madrid

CERTIFICA

que la Tesis realizada por D. Luis Miguel López Mojares titulada: "VALORACIÓN FUNCIONAL DEL SOLDADO DE UNIDADES DE ÉLITE DESPUÉS DEL PERÍODO DE INSTRUCCIÓN BÁSICO, EN LAS FUERZAS ARMADAS DE ESPAÑA", se ha llevado a cabo bajo mi dirección y en el momento actual está en condiciones de ser leída y juzgada.

Y para que conste y surta los efectos oportunos firmo el presente Certificado en Madrid, a uno de septiembre de mil novecientos noventa y siete.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'J' and 'L' intertwined, with a horizontal line across the middle.

Fdo. José López Chicharro
DIRECTOR

D. Julio César Legido Arce, catedrático de Fisiología del Deporte, perteneciente al Departamento de Rehabilitación, Medicina Física e Hidrología de la Universidad Complutense de Madrid

CERTIFICA

que la Tesis realizada por D. Luis Miguel López Mojares titulada: "VALORACIÓN FUNCIONAL DEL SOLDADO DE UNIDADES DE ÉLITE DESPUÉS DEL PERÍODO DE INSTRUCCIÓN BÁSICO, EN LAS FUERZAS ARMADAS DE ESPAÑA", se ha llevado a cabo bajo mi codirección y en el momento actual está en condiciones de ser leída y juzgada.

Y para que conste y surta los efectos oportunos firmo el presente Certificado en Madrid, a uno de septiembre de mil novecientos noventa y siete.



Fdo. Julio César Legido Arce
DIRECTOR

NOTA: Esta investigación ha sido posible gracias al Acuerdo de Colaboración firmado entre el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Complutense de Madrid, y la Dirección General de Enseñanza del Ministerio de Defensa (Madrid, julio de 1993).

Este proyecto no habría sido posible sin el impulso y la ilusión del Excmo. Sr. Tte. Gral. D. Francisco Veguillas Elices (q.e.p.d.), Director General de Política de Defensa y asesinado en Madrid, por la banda terrorista ETA, el mismo día que concluía la fase experimental de esta tesis: 29 de julio de 1994.

a Fuensanta, mi mujer
a Luis, M^a Luisa y Clara, mis padres y hermana
a Gloria, mi hija

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Julio C. Legido Arce, por permitir mi incorporación a su Equipo de Investigación.

Al Prof. José López Chicharro, porque con su amistad, su paciencia, y su lección de cómo debe ser un jefe, ha hecho que este trabajo llegue a su fin.

A mis queridos amigos de la EMEFD, y en particular a los miembros de la Unidad de Investigación : Margarita Pérez, Julián Álvarez, Almudena Fernández, Alejandro Lucía, Carmen León, Felipe Calvo, Ana Cristina Yges, y Luis Serratosa, porque con sus enseñanzas y su ayuda han conseguido que me sienta orgulloso de pertenecer a ella.

Al Prof. Jose Manuel Ballesteros, por regalarme su experiencia y colaboración en los planes de entrenamiento.

Al Coronel Rafael Sánchez Cánovas (q.e.p.d.), Secretario General del Consejo Superior de Educación Física y Deporte del FFAA, y gran impulsor del proyecto.

A todo el personal del Grupo de Operaciones Especiales nº 1 (Colmenar Viejo - Madrid), del Ejército de Tierra, y especialmente a los soldados que intervinieron en el estudio, todos los Mandos, y en particular al Coronel Jose Armendáriz La-Roche, por su paciencia e ilusión.

Al Teniente Coronel Médico Jacinto Camarena, y al resto del personal de la Escuela Central de Educación Física del Ejército, por su apoyo y sus consejos.

Al personal del Centro de Documentación (Secretaría General Técnica) del Ministerio de Defensa, por su valiosa ayuda en las búsquedas bibliográficas.

A los distintos estamentos del Ministerio de Defensa que colaboraron. Particularmente al Consejo Superior de Educación Física y Deportes de las Fuerzas Armadas; Subdirección General de Régimen Interior; Secretaría General Técnica; Inspección General de Sanidad DRISDE; Dirección General de Política de Defensa; Unidad Sanitaria; Escuela Militar de Sanidad; Unidad Estadística, etc.

Tengo que agradecer de una manera especial a Fuensanta el haber sido el soporte moral, y la creadora de la ilusión que me ha guiado.

Por último, quiero agradecer a mis padres y mi hermana su permanente preocupación por mi formación, y todas sus muestras de cariño y comprensión.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	2
1.2. SITUACIÓN ACTUAL	6
1.3. LA CONDICIÓN FÍSICA EN EL MILITAR	8
1.4. DETERMINANTES FISIOLÓGICAS DE LA CONDICIÓN FÍSICA	14
1.4.1. Condición aeróbica	14
1.4.1.1. Aspectos generales	14
1.4.1.2. Potencia aeróbica: VO_{2max}	15
1.4.1.2.1. Determinantes del VO_2	16
1.4.1.2.2. Gasto cardíaco	16
1.4.1.2.3. Diferencia arteriovenosa de O_2	20
1.4.1.2.4. Respuesta del consumo de oxígeno durante el ejercicio	22
1.4.1.2.5. Concepto de potencia aeróbica máxima (VO_{2max})	24
1.4.1.2.6. Criterios para determinar VO_{2max}	25
1.4.1.2.7. Valores normales	26
1.4.1.3. Umbral anaeróbico	28
1.4.1.3.1. Concepto de umbral anaeróbico	28
1.4.1.3.2. Bases fisiológicas del umbral anaeróbico	30

1.4.1.4. Respuesta al entrenamiento de la condición aeróbica	38
1.4.1.4.1. Efectos sobre la potencia aeróbica máxima	43
1.4.1.4.2. Efectos sobre el umbral anaeróbico	49
1.4.1.4.3. Efectos sobre el rendimiento	52
1.4.1.4.4. Efectos sobre el sistema cardiovascular	53
1.4.1.5. Respuesta al entrenamiento aeróbico militar	55
1.4.1.6. Entrenamiento de la condición aeróbica	62
1.4.1.7. Estudios experimentales sobre entrenamiento militar aeróbico	64
1.4.2. Fuerza muscular	72
1.4.2.1. Aspectos generales	72
1.4.2.2. Concepto de fuerza muscular	73
1.4.2.3. Respuesta al entrenamiento de fuerza muscular	83
1.4.2.3.1. Efectos sobre la masa muscular (Hipertrofia)	83
1.4.2.3.2. Efectos sobre el mecanismo de la contracción	86
1.4.2.3.3. Efectos sobre las características de la contracción	88
1.4.2.3.4. Efectos sobre la mitocondria y las enzimas oxidativas	89
1.4.2.4. Respuesta al entrenamiento militar de fuerza	92
1.4.2.5. Entrenamiento de la fuerza muscular	96
1.4.2.6. Estudios experimentales sobre el entrenamiento militar de la fuerza muscular	102

1.4.3. Condición anaeróbica	112
1.4.3.1. Concepto de condición anaeróbica	112
1.4.3.2. Respuesta al entrenamiento de la condición anaeróbica ..	114
1.4.3.3. Estudios experimentales sobre la respuesta al entrenamiento anaeróbico militar	121
1.4.3.4. Entrenamiento de la condición anaeróbica	123
1.4.3.5. Estudios experimentales sobre entrenamiento anaeróbico militar	127
1.4.4. Flexibilidad	130
1.4.5. Composición corporal	135
2. OBJETIVO	141
3. MATERIAL Y MÉTODOS	142
3.1. POBLACIÓN	145
3.1.1. Grupo de estudio	145
3.1.2. Criterios de selección	148
3.1.3. Entrenamiento efectuado	149
3.2. MATERIAL DE LABORATORIO	170
3.3. MATERIAL INFORMÁTICO	175
3.4. MATERIAL FUNGIBLE Y ACCESORIO	176
3.5. PERSONAL INVESTIGADOR	176

3.6. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS	178
3.6.1. Consideraciones previas a la prueba	178
3.6.1.1. Sujetos voluntarios	178
3.6.1.2. Investigadores	178
3.6.2. Criterios de maximalidad	179
3.6.3. Descripción general del estudio	180
3.6.3.1. Historia clínica	180
3.6.3.2. Test aeróbico	182
3.6.3.2.1. Protocolo	182
3.6.3.2.2. Análisis de gases	184
3.6.3.2.3. Toma de muestras de sangre capilar	188
3.6.3.3. Test de fuerza muscular	190
3.6.3.4. Test anaeróbico de Wingate	198
3.6.3.5. Antropometría	202
3.6.3.6. Analítica de sangre y orina	226
3.6.3.7. Espirometría	229
3.6.3.8. Test de Campo	230
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	235

4. RESULTADOS	236
4.1. GRUPO DE SUJETOS	237
4.2. PARÁMETROS BIOMÉTRICOS	237
4.2.1. Edad	237
4.2.2. Peso	237
4.2.3. Talla	238
4.3. ESTUDIO DE LA CONDICIÓN AERÓBICA	239
4.3.1. Ventilación máxima	239
4.3.2. Cociente ventilatorio	241
4.3.3. Frecuencia cardíaca máxima	241
4.3.4. Consumo máximo de oxígeno absoluto	241
4.3.5. Consumo máximo de oxígeno relativo	242
4.3.6. Producción de dióxido de carbono	242
4.3.7. Lactato máximo	242
4.3.8. Tensión arterial sistólica final	243
4.3.9. Tensión arterial diastólica final	243
4.3.10. Velocidad de tapiz en umbral láctico	243
4.3.11. Frecuencia cardíaca en umbral láctico	244
4.3.12. Velocidad de tapiz en OBLA	244
4.3.13. Frecuencia cardíaca en OBLA	244

4.4. ESTUDIO DE LA FUERZA Y FLEXIBILIDAD	246
4.4.1. Fuerza en mano derecha	246
4.4.2. Fuerza en mano izquierda	246
4.4.3. Fuerza en piernas	246
4.4.4. Fuerza en espalda	247
4.4.5. Fuerza en salto vertical	247
4.4.6. 1·RM	247
4.4.7. Índice de fuerza	248
4.4.8. Flexibilidad de la columna vertebral	248
4.5 VALORACIÓN ANAERÓBICA	251
4.5.1. Potencia pico	251
4.5.2. Potencia media	251
4.5.3. Índice de fatiga	251
4.6 ANTROPOMETRÍA	254
4.6.1. Peso graso	254
4.6.2. Peso muscular	254
4.7. ESPIROMETRÍA	257
4.7.1. Capacidad vital forzada	257
4.7.2. FEV ₁	257
4.7.3. FEV ₁ / CVF	257
4.7.4. PEF	258
4.8. TEST DE CAMPO	259
4.8.1. Tiempo de ejecución	259

4.9. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	260
4.9.1. Colesterol total	260
4.9.2. Colesterol HDL	260
4.9.3. Colesterol LDL	260
4.9.4. Triglicéridos	261
4.9.5. Sideremia	261
5. DISCUSIÓN	263
5.1. PARÁMETROS BIOMÉTRICOS	264
5.2. ESTUDIO DE LA CONDICIÓN AERÓBICA	265
5.3. ESTUDIO DE FUERZA Y FLEXIBILIDAD	276
5.4. VALORACIÓN ANAERÓBICA	284
5.5. ANTROPOMETRÍA	286
5.6. ESPIROMETRÍA	289
5.7. TEST DE CAMPO	290
5.8. ESTUDIOS ANALÍTICOS BIOQUÍMICOS	291
6. CONCLUSIONES	292
7. BIBLIOGRAFÍA	295

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Las Fuerzas Armadas españolas han tenido una notable influencia en la historia de la Educación Física y el Deporte en nuestro país. Del mismo modo, sería impensable la concepción de los ejércitos sin la contribución de la Educación Física y el Deporte, como soporte de la preparación física del personal militar.

La base ideológica de la Educación Física y el Deporte en las Fuerzas Armadas de España procede, según la mayor parte de los estudiosos del tema, de la gimnasia sueca.

Tres son los hitos considerados como fundamentales en su desarrollo: el llamado "proyecto Jovellanos" (1809), primer reconocimiento oficial de la Educación Física como parte del curriculum escolar en nuestro país; la Escuela Central de Profesoras y Profesores de Gimnástica de Madrid, primer centro de estas características creado en España (1883); y la creación de la Escuela de Gimnasia del Ejército en Toledo, en 1919.

La gimnasia sueca a su vez procede de la influencia del alemán Guth Muths, en cuyas ideas se inspira el danés Franz Nachtgell, que extiende estos conocimientos por Escandinavia, fundando en 1804 el primer Instituto Militar de Gimnasia.

Discípulo de Nachtgell, el sueco Per Henrik Ling, instaaura las bases de la Educación Física Militar, comenzando por la esgrima. Por medio de ejercicios variados

en las posiciones de pie, sentado o tendido; con el empleo de cuernas, barras de suspensión, escalas de ondulación, etc, se entrena a los soldados para hacerlos mas resistentes a la fatiga. Por medio de los ejercicios de salto, volteretas, etc. se les educa para obrar con precisión en un momento dado. Su libro "Utilidad de la Gimnasia para el soldado", editado en 1820, resume su doctrina.

Hjalmar Ling, hijo del anterior, fue el sistematizador del método. Fue el creador de las tablas de gimnasia sueca tan empleadas en los ejércitos de todo el Mundo, y por medio de las cuales se dio a conocer en todo el planeta.

El momento de mayor influencia de la gimnasia sueca en Europa y, por tanto, también en nuestro país, fue la primera etapa, gracias a que ésta desarrolló un apartado militar fundamental, y empezó a utilizarse en la mayoría de los ejércitos. De esta forma, las mismas milicias fueron las encargadas de llevar este tipo de actividad física a todo el Continente. Entre 1882 y 1907 la aplicación del método en el Ejército y la Armada adquieren una enorme difusión mediante la labor de Törngren, Silow y Norlander. En aquellos momentos surgieron ciertas discrepancias contrarias al pensamiento de Hjalmar Ling, que consideraban que para que la gimnasia militar fuese verdaderamente efectiva debería separarse radicalmente de la gimnasia pedagógica.

La gimnasia sueca, como decíamos anteriormente, influye decisivamente en el desarrollo de la Educación Física y el Deporte en España. Tanto en el ámbito militar, como en el civil. Muestra de esto último fue la creación de la Escuela Central de Profesoras y Profesores de Gimnástica en 1883

A principios del siglo XIX (1809), Jovellanos ofrece un impulso a la Educación Física y el Deporte en las Fuerzas Armadas, estableciendo una diferencia neta entre ésta, "aplicable a los mozos, teniendo por objeto peculiar de su enseñanza habilitarlos para la defensa de la patria, cuando fuesen llamados a ella...", y la educativa aplicable a los "muchachos", condicionada siempre a la primera.

En el desarrollo de la Educación Física y el Deporte en las Fuerzas Armadas de España, Francisco Amorós ocupa un lugar privilegiado: es a través del Real Instituto Militar Pestalozziano (1806 - 1807), primera institución que reconoce la necesidad de preparar físicamente las tropas militares, como surge la preocupación del Ejército en preparar profesionales que con una formación completa se dispongan a llevar a cabo la tarea del acondicionamiento físico para los distintos Cuerpos. Nace la gimnasia de ejercicios elementales, destinada a crear las bases para la ejecución de los ejercicios militares; y la gimnasia de ejercicios aplicados, donde se utilizan aparatos gimnásticos, pistas y otros útiles. Esta filosofía corresponde a un acercamiento a las tendencias más liberales del momento, con un afán integrador de lo espiritual e intelectual con el desarrollo corporal del individuo.

La creación de un gimnasio del Cuerpo de Ingenieros de Guadalajara en 1847, de una escuela de natación en el Colegio de Cadetes de Artillería de Mallorca en 1913, junto con otros tímidos atisbos de interés por el tema, sientan las bases de lo que posteriormente será el desarrollo de estas disciplinas en nuestros ejércitos.

Sin duda el escalón fundamental en la historia de la Educación Física y el

Deporte de las Fuerza Armadas de España, como recoge en su espléndida tesis doctoral José Chinchilla¹, se fundamenta en las experiencias suecas y francesas recogidas por González Deleito y Gómez de Salazar; que hacen despertar la necesidad por el entonces Jefe de Estudios de la Academia de Infantería de Toledo, José Villalba Riquelme; y es este mismo General Riquelme, quien al recibir la noticia de su nombramiento como Ministro de la Guerra, por vía telefónica el día 15 de diciembre de 1919, inmediatamente se dispone a redactar el escrito que ordenaría la fundación de la Escuela Central de Gimnasia de Toledo. El primer Plan de Estudios se puede contemplar en el **cuadro 1**. Esta Escuela, que pasaría a denominarse Instituto Militar de Educación Física, y que tras la Guerra Civil recibiría el nombre actual de Escuela Central de Educación Física, ha sido el gran centro impulsor de la Educación Física y el Deporte del siglo XX en España, tanto en las Fuerzas Armadas como en el mundo civil.

Asignaturas, ejercicios v días	Horas	Profesores
Gimnasia practica	09.00 a 09.30	Comandante Salazar Suplente: Teniente Suárez
Descripción de aptitudes v movimientos. Estudio critico del Reglamento de Gimnasia. Pedagogia gimnastica v Analisis de movimientos	09.55 a 10.35	Comandante Salazar
Anatomia, Fisiologia General v aplicada a los ejercicios físicos e Higiene. Lunes, miércoles v viernes	10.45 a 11.45	Comandante medico Alba
Pedagogia General Martes, jueves v sabados	10.45 a 11.45	Capitan Seco
Deportes Jueves de cada semana	12.15 a 11.45	Capitan Seco
Esgrima, Boxeo v Lucha	12.15 a 15.30	Capitan Rivas Suplente: Teniente Lazcano
Instruccion gimnastica con los alumnos de la Academia	La señalada en la Academia para estas practicas	Comandante Salazar Suplente: Teniente Lazcano

Cuadro 1: Primer Plan de Estudios, de 1920 (Según Vinuesa¹⁹⁸⁰)

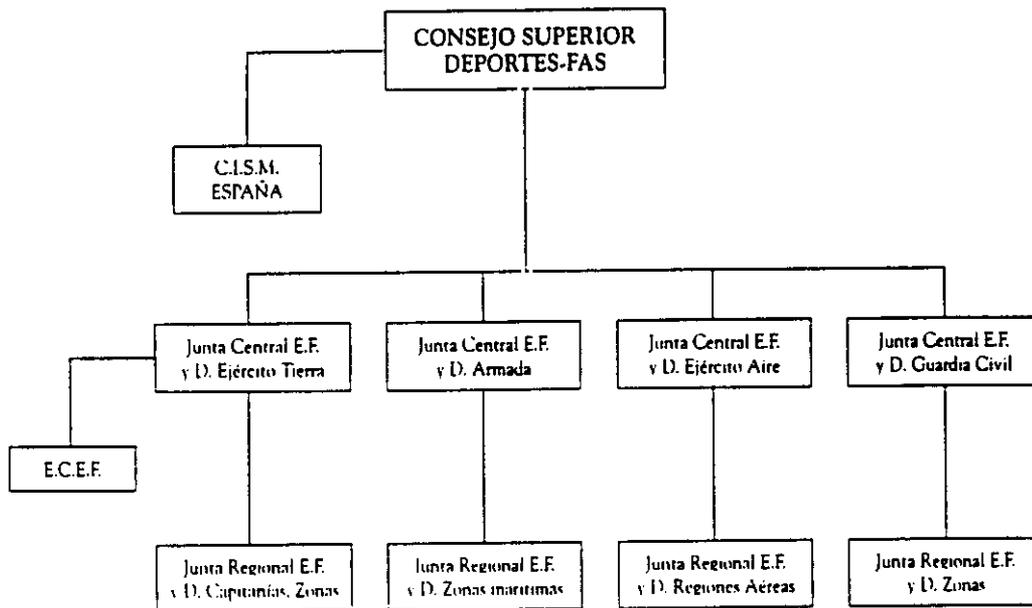
1.2. SITUACIÓN ACTUAL

La Constitución Española de 1978, en su artículo 43.3 establece que "los poderes públicos fomentarán la educación sanitaria, la educación física y el deporte".

La Ley 85/1978 de 28 de diciembre, de Reales Ordenanzas para las F.F.A.A., en su artículo 44 dispone que "...una adecuada preparación física que le permitan cumplir sus misiones con la debida competencia y actuar con eficacia en el combate".

La Ley Orgánica 13/1991, de 20 de diciembre, del Servicio Militar, en su artículo 31 prescribe que "...La formación física tendrá por objeto capacitar al militar de reemplazo para el desempeño de las funciones que le son propias. Los programas de formación física tendrán en cuenta las condiciones individuales y las aptitudes naturales del militar de reemplazo serán complementadas con actividades deportivas para crear hábitos de esta naturaleza".

La Orden 12/1988, de 11 de febrero (B.O.E. nº 42 del 18 de febrero de 1988) por el que se modifica el Consejo Superior de Educación Física y Deportes de las Fuerzas Armadas, actualmente vigente, subraya la importancia capital que la educación física y el deporte tiene para las Fuerzas Armadas. En el **cuadro 2** podemos ver la organización actual de la actividad física militar en España.



Cuadro 2: Organización del Deporte Militar en España (Según Vinuesa¹, y 80)

Dentro de las Fuerzas Armadas existen ciertas Unidades de Élite, a quienes de un modo singular se les encomiendan determinadas misiones que exigen del combatiente unas condiciones físicas particularmente desarrolladas^{2 y 3}.

Estos aspectos fueron estudiados, entre otros, por Moragues, Gil Vernet, Hernández y Linares, en la Escuela Militar de Montaña de Jaca (Huesca), subrayando la importancia que revisten en el entrenamiento del combatiente⁴.

Las características singulares de los Teatros de Operaciones, sustancialmente diferentes al medio ambiente en el que suelen desarrollarse la mayor parte de la actividad física civil, hacen necesario una condición física, y una capacidad de sufrimiento que sólo puede ser ofrecida por personas con una gran vocación, además

del desarrollo de un tipo de atención médica propio de la Sanidad Militar^{5-42,71-76}.

1.3. LA CONDICIÓN FÍSICA EN EL MILITAR

El entrenamiento físico, entendido no sólo como la práctica de la Educación Física y el Deporte en sentido estricto, sino además de ello la realización de numerosos ejercicios tácticos que exigen de cada uno unas altas prestaciones de resistencia, velocidad, fuerza, elasticidad, etcétera, precisa ser optimizado con todos los medios disponibles.

La condición aeróbica es precisa para realizar ejercicios de baja a moderada intensidad de larga duración, tales como marchas.

La fuerza muscular interviene decisivamente cuando se requiere realizar ejercicios repetidos o bien de una cierta intensidad, como levantar objetos, etcétera.

La condición anaeróbica es necesaria cuando los sujetos han de realizar actividades repetidas de alta intensidad, tales como cargas muy pesadas, elevaciones repetidas, carreras rápidas, etcétera.

Los programas de entrenamiento han de estar sustentados por los principios fisiológicos elementales al objeto de optimizar el resultado, y reducir al mínimo las lesiones. De entre ellos cabe destacar los siguientes:

- a. Principio de **sobrecarga**: la actividad física que se ha de recomendar

debe ser superior (respecto a intensidad, duración o frecuencia) a la que el sujeto está acostumbrado a realizar, a fin de mejorar y ampliar su capacidad.

- b. Principio de **especificidad**: el gesto físico entrenado ha de ser lo más semejante posible a la actividad militar que deseamos realizar.
- c. Principio de **reversibilidad**: tendremos en cuenta que las modificaciones producidas por el entrenamiento no son permanentes, y se perderán a menos que se repitan cíclicamente.

El entrenamiento de la potencia aeróbica produce modificaciones tanto en la fisiología cardiorrespiratoria, como en los sistemas oxidativos que proporcionan la energía necesaria para la masa muscular.

El organismo responde al entrenamiento aeróbico aumentando la capacidad de bombeo del corazón, el flujo vascular de los músculos, el aprovechamiento del oxígeno transportado por los hematíes, y mejorando la capacidad oxidativa de las fibras musculares; lo que contribuye a la mayor oferta de oxígeno destinada a los músculos ejercitantes, y por consiguiente a la adaptación del organismo para ejecutar tareas de carácter aeróbico.

El entrenamiento de la fuerza muscular produce en primer lugar ciertas adaptaciones con respecto al tamaño del músculo, al metabolismo celular, y al control nervioso de la contracción muscular. Estos cambios han de generar una mayor fuerza muscular máxima, que tiene una importancia trascendental en las actividades militares

que requieran saltos, tracciones, empujones, etcétera.

El entrenamiento anaeróbico, conocido también como entrenamiento de "fuerza-resistencia", ofrece una modificaciones en la bioquímica muscular, mejorando aquellos aspectos que requieren esfuerzos musculares de alta intensidad, en períodos cortos de tiempo.

El principal problema que se ha de asumir al llevar a cabo un entrenamiento militar es el que representa las lesiones músculo-esqueléticas, algunas de las cuales son particularmente características de la instrucción del soldado⁴³⁻⁴⁸.

La condición física del militar es un elemento de prevención de lesiones durante la instrucción: cuanto mejor forma física tengan los soldados, menor índice lesional nos encontraremos ⁴⁹.

Estas lesiones pueden suponer además de los trastornos personales, una serie de inconvenientes de carácter médico, que alteren sensiblemente la operatividad de la Unidad. Por estas razones, la prevención de las lesiones ha de ocupar un espacio preferente en cualquier entrenamiento militar⁵⁰⁻⁵². Sería necesario pues, la identificación y reducción de los factores predisponentes de las lesiones^{53-60,77y78}.

Las incidencias climatológicas de frío o calor, entre otras, condicionan muy notablemente la actividad física del combatiente^{36, 39, 61-63}. Éstas pueden ser diferentes tratándose de hombres y mujeres⁴⁷. En estas ocasiones especiales se hacen precisos una serie de atenciones, tanto nutricionales como de otro tipo, que condicionan sensiblemente el rendimiento de la Unidad militar⁶⁴.

Los aspectos epidemiológicos adquieren una enorme trascendencia, como apuntan Cowan y cols. (1988) y Jones y cols.(1993) al analizar un grupo amplio de soldados de Infantería del Ejército de Tierra de los Estados Unidos, quienes tras un Período de Instrucción Básico de 12 semanas presentaban lesiones en miembros inferiores un 37 % del total, las cuales suponían el 80 % de todas las lesiones. La patología más frecuente fueron los tirones musculares, torceduras, y los trastornos por sobreuso de la rodilla. Entre los factores de riesgo más importantes, se consideraban la edad avanzada, el hábito de fumar, los antecedentes lesionales, el bajo nivel de actividad física, el grado de flexibilidad (tanto por exceso como por defecto), y el volumen de entrenamiento cuando éste produce sobreesfuerzo^{50y65}.

Tiene una gran trascendencia poder predecir cual va a ser la respuesta esperable tras un determinado entrenamiento militar; así como definir el tipo de entrenamiento necesario para obtener las modificaciones fisiológicas que le capaciten para cumplir las misiones que se les van a encomendar⁶⁶. Snood y cols. (1994) considera que los elementos predictivos más importantes que deben ser considerados, dentro de los que suelen emplear antes de un entrenamiento militar, son el hábito de consumo de tabaco y los resultados obtenidos en un test de condición física⁴³.

Estos aspectos pueden tener una importancia añadida en el caso de ser preciso un proceso de movilización de fuerzas de reserva.

Actualmente, cuando la evolución de las Fuerzas Armadas de España, y de los países pertenecientes a la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), se

orientan hacia una reducción de efectivos, y las Unidades de Élite referidas con anterioridad se vislumbran como la base fundamental de los ejércitos; la capacidad de ser entrenados y el conocimiento del grado en que cabría esperar modificaciones de la capacidad física tiene una importancia estelar. Sin embargo no siempre nos encontramos con el rendimiento físico ideal^{67 y 68}, y en otros casos los soldados pueden llegar a perder gran parte de la condición física de la que disponían⁶⁹. Los miembros de las Unidades militares con actividades singulares, como los buceadores de combate, tradicionalmente han sido estudiados de una manera especial⁷⁰.

La condición física está constituida básicamente por tres elementos: capacidad aeróbica, fuerza muscular y capacidad anaeróbica.

- a. **Condición aeróbica:** La que permite al organismo proporcionar el oxígeno y las sustancias nutritivas necesarias, procedentes del metabolismo aeróbico, que le facultan para la actividad muscular durante tiempo prolongado, eliminando al mismo tiempo las sustancias de deshecho.

- b. **Fuerza muscular:** La máxima fuerza contráctil que pueda ser ejecutada por un músculo o grupo de músculos en un movimiento dado.

- c. **Condición anaeróbica:** La que permite realizar contracciones musculares repetidas, de un músculo o grupo de músculos, en períodos relativamente cortos de tiempo, y con una elevada intensidad.

Además de éstos, existen otros factores, que sin revestir la importancia de los tres anteriores, han de ser tenidos en cuenta:

- d. **Flexibilidad:** Capacidad de aprovechar la máxima movilidad de las articulaciones, minimizando los obstáculos que pueden representar la resistencia impuesta por músculos, tendones o ligamentos.
- e. **Composición Corporal:** Estudio de la proporcionalidad entre los distintos elementos que constituyen el organismo, con especial interés entre las estructuras grasas, y las musculares.

1.4. DETERMINANTES FISIOLÓGICAS DE LA CONDICIÓN FÍSICA

1.4.1. Condición aeróbica

1.4.1.1. Aspectos generales

Como se expresaba con anterioridad se trata de la condición que confiere la energía obtenida mediante el metabolismo oxidativo.

Generalmente la condición aeróbica se determina con los siguientes parámetros₇₉:

- a. **Potencia aeróbica máxima:** La definida por el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$).
- b. **Capacidad aeróbica máxima:** propiamente dicha: La definida por el tiempo que es capaz de resistir a un alto porcentaje del $VO_{2máx}$ (umbral anaeróbico).

1.4.1.2. Potencia aeróbica máxima: VO_{2max} .

El consumo de oxígeno (VO_2) es un parámetro fisiológico que expresa la cantidad de oxígeno que consume o utiliza el organismo. La medición directa o la estimación indirecta de este parámetro nos permite cuantificar de alguna forma el metabolismo energético, ya que el oxígeno se utiliza como comburente en las combustiones que tienen lugar a nivel celular y que permiten la transformación de la energía química (que radica en los principios inmediatos nutricionales: hidratos de carbono, lípidos y proteínas) en energía mecánica (contracción muscular). El oxígeno que consume una persona en situación de reposo absoluto, nos indica el denominado metabolismo basal, y se ha calculado que corresponde aproximadamente a 3.5 ml de oxígeno por kilogramo de peso total y por minuto ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$). Éste es el valor que equivale a 1 MET o unidad metabólica, y refleja el gasto energético que precisa un organismo para mantener sus constantes vitales. A medida que se establece una mayor demanda energética, el consumo de oxígeno va siendo cada vez mayor.

El VO_2 dependerá de todos aquellos factores que intervienen en el recorrido que han de seguir las moléculas de oxígeno procedentes del aire atmosférico hasta llegar al interior de la mitocondria, donde se reduce y se une a los hidrogeniones para formar CO_2 y H_2O , que es la forma en la que el oxígeno utilizado se elimina del organismo.

1.4.1.2.1. Determinantes del VO₂

El VO₂ es expresión directa de las necesidades metabólicas del organismo en un momento dado. El O₂ necesita ser absorbido en los pulmones y transportado hasta las mitocondrias celulares mediante la circulación sanguínea. Posteriormente el CO₂ como producto de desecho debe ser eliminado, siguiendo un proceso inverso. Todos estos componentes del sistema de transporte de O₂ determinan el VO₂.

De acuerdo con las ecuaciones de Fick, se relacionan con arreglo a la siguiente fórmula:

$$VO_2 = Q \times \text{Dif a-v } O_2$$

donde Q es el gasto cardíaco o volumen minuto y Dif a-v O₂ la diferencia arteriovenosa en contenido de O₂. El gasto cardíaco se corresponde a su vez con el producto del volumen latido o sistólico (VS) por la frecuencia cardíaca (FC). A continuación describiremos cada uno de estos parámetros:

1.4.1.2.2. Gasto cardíaco.

Desde un punto de vista práctico es importante conseguir un buen vaciado ventricular con una frecuencia cardíaca baja, lo que condiciona un ahorro en el consumo miocárdico de O₂. Clásicamente se ha considerado como mecanismo

primordial para el aumento del volumen sistólico durante el ejercicio, el aumento de la precarga, condicionado por varios factores:

- a. **volemia.**
- b. **contribución venosa**, por las contracciones musculares.
- c. **movilización de los depósitos sanguíneos de reserva**, especialmente esplénico y pulmonares.
- d. **redistribución activa de flujos** desde las áreas inactivas hacia las que realizan el ejercicio.
- e. **duración del llenado ventricular**, esto es, de la diástole, inversamente proporcional a la frecuencia cardíaca.
- f. **presión hidrostática**, dependiente de la posición, que se opone al llenado auricular.
- g. **presión intratorácica.**

Estos hechos condicionan el aporte de sangre al ventrículo, que se llenará de acuerdo a su distensibilidad, alcanzando al final de la diástole la presión de llenado telediastólico máximo. Esta presión junto con el volumen alcanzado determinan la longitud de las fibras ventriculares cuando se produce la contracción sistólica y el vaciamiento ventricular. De acuerdo con la ley de Frank-Starling, la fuerza contráctil de las fibras miocárdicas depende directamente de la longitud de las mismas (esto es,

de las dimensiones ventriculares), aumentando hasta un máximo, tras pasado el cual disminuye dicha fuerza contráctil.

Se ha invocado este mecanismo de Frank-Starling para explicar la adaptación del volumen sistólico a los requerimientos variables del gasto cardíaco que provocan los cambios posturales y el ejercicio.

Posiblemente es el principal mecanismo de adaptación ante los cambios posturales (especialmente al pasar de la bipedestación al decúbito), en la adaptación inmediata al ejercicio y también durante el ejercicio mantenido, cuando éste se realiza acostado. En la actualidad hay discrepancias entre distintos autores debido a que el diámetro diastólico ventricular no aumenta o incluso disminuye a niveles altos de esfuerzo realizado en posición erecta. Así para algunos el mecanismo de Frank-Starling es secundario, mientras que para otros puede ser importante incluso a niveles de ejercicio máximo.

Quizá más que el llenado ventricular, el principal determinante del volumen latido es el vaciado ventricular, que aumenta con el ejercicio a expensas del volumen residual, lo que explicaría que el volumen telediastólico disminuya a niveles altos de ejercicio. Así, sería la contractilidad, que depende del nivel de activación adrenérgica neural y de las catecolaminas circulantes, el principal determinante de las adaptaciones del volumen sistólico al esfuerzo. Esta misma estimulación neuroadrenérgica condiciona los cambios del otro determinante del gasto, la frecuencia cardíaca, junto a una vagolisis o inhibición parasimpática.

Por otro lado, la poscarga depende de la presión diastólica aórtica y de la geometría ventricular. Dado que la circulación coronaria es intermitente, la duración de la diástole (en relación inversa a la frecuencia cardíaca) junto con la presión diastólica determinan la irrigación miocárdica. El círculo se cierra al considerar que para que se desarrolle la fuerza contráctil y las adaptaciones de contractilidad, es necesaria la correcta irrigación miocárdica.

El otro factor determinante del gasto cardíaco es la frecuencia cardíaca. La frecuencia cardíaca máxima depende fundamentalmente de la edad, por mecanismos no conocidos. Se relacionan según la fórmula de Astrand:

$$\text{Frecuencia máxima} = 220 - \text{edad en años}$$

El entrenamiento sistemático disminuye la frecuencia cardíaca de reposo por un aumento del tono vagal, por acumulación de adenosina en el nódulo sinusal y por causas intrínsecas. Sin embargo, apenas influye sobre la frecuencia cardíaca máxima, aunque para cada nivel de trabajo la frecuencia cardíaca del sujeto entrenado es más baja que para el no entrenado. El entrenamiento produce un aumento del volumen latido hasta niveles submáximos, por aumento de la fuerza contráctil, aumento del volumen diastólico y disminución del volumen residual. Los mayores requerimientos de gasto cardíaco necesarios para alcanzar intensidades de ejercicio más elevadas,

se consiguen en el sujeto entrenado a partir de esta interrelación frecuencia cardiaca - volumen sistólico, teniendo en cuenta las mencionadas limitaciones: la frecuencia cardiaca máxima no es entrenable y el volumen sistólico lo es hasta niveles submáximos.

Por ello la perifería juega un papel fundamental en el entrenamiento: la diferencia arteriovenosa de contenido de O_2 .

1.4.1.2.3. Diferencia arteriovenosa de contenido de O_2 .

En condiciones de reposo el organismo extrae de la sangre arterial unos 5 ml de O_2 por 100 ml de sangre, que pueden alcanzar durante el ejercicio hasta 15 ml en el sujeto normal y 17 ml de O_2 en el entrenado, lo cual indica que la sangre venosa ya queda muy desaturada en condiciones normales.

En la vertiente arterial influye la presión parcial del O_2 , que está en relación con la altitud. El nivel de hemoglobina y la presencia de carboxihemoglobina junto con la volemia condicionan la capacidad de transporte arterial. Es fundamental en este sentido la redistribución de flujos pulmonares y sistémicos que se produce en caso necesario, derivando la circulación de los territorios inactivos a la circulación general y a los territorios activos. Por último es imprescindible la adecuación de la ventilación pulmonar a los requerimientos circulatorios elevados, como veremos más adelante.

En la vertiente venosa, la capacidad de extracción de O_2 por los tejidos

determina su saturación. Las diferencias en la cantidad y calidad de la hemoglobina así como la temperatura y el pH de la sangre determinan un desplazamiento de la curva de disociación de la hemoglobina para favorecer la difusión del O₂ a los tejidos. La redistribución de flujos, la masa muscular que actúa y la condición de sus miofibrillas son también importantes. Sobre ellos influye de manera importante el grado de entrenamiento o condicionamiento físico que puede mejorar la diferencia arteriovenosa hasta un 10%, sin que para ello intervengan mecanismos centrales.

Por tanto, en la diferencia arterio-venosa de oxígeno juegan un papel importante diferentes factores que podríamos llamar "periféricos" para distinguirlos de los que se refieren al funcionamiento del corazón como bomba y a los que se refieren a todos los parámetros de la ventilación y difusión de los gases de los alveolos pulmonares al torrente sanguíneo.

Las características tisulares locales, o lo que es lo mismo, la capacidad del músculo esquelético activo para extraer el oxígeno que le llega a través de la sangre arterial, van a ser un factor fundamental en la capacidad global del organismo de consumir oxígeno. La capilarización (es decir, el número de capilares por unidad de peso tisular), el predominio de fibras musculares tipo I o tipo II, la masa mitocondrial, y los complejos enzimáticos que participan en el engranaje de las vías metabólicas celulares aeróbicas (ciclo de Krebs) son factores importantes a la hora de considerar el VO₂, ya que de ellos va a depender en gran medida la capacidad de utilización del oxígeno por el músculo esquelético.

Los mecanismos de ventilación y difusión pulmonar de los gases sanguíneos son otro factor condicionante de la diferencia arteriovenosa de oxígeno y, por tanto, del consumo de oxígeno. La concentración de oxígeno en el aire espirado, la permeabilidad de la vía aérea, la mecánica ventilatoria, la vascularización o perfusión pulmonar, la ventilación alveolar y la capacidad de difusión de los gases respiratorios a través de la membrana alveolocapilar, van a ser condicionantes de la cantidad de oxígeno presente en la sangre arterial. Por tanto, alteraciones a cualquiera de estos niveles, pueden ser limitantes en última instancia del consumo de oxígeno.

1.4.1.2.4. Respuesta del consumo de oxígeno durante el ejercicio.

El consumo de oxígeno mantiene una relación lineal con la carga de trabajo realizada: a mayor intensidad de trabajo, mayor será el consumo de oxígeno para un mismo individuo. Cuando analizamos la respuesta de este parámetro a un ejercicio incremental en rampa (pequeños incrementos de carga en intervalos de tiempo breves), obtenemos una respuesta. La linealidad de la curva se pierde en el caso de que alcancemos el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), momento en el que aparecerá una meseta que indica una limitación para incrementar el VO_2 a pesar de que la carga de trabajo siga aumentando (Ver **figura 1**).

Por otra parte, la pendiente de la recta se modifica en casos de obesidad, patología, etc. Cuando analizamos la respuesta a una carga fija de trabajo, partiendo

desde una posición inicial de reposo, observamos una primera fase de adaptación hasta alcanzar un estado estable. Esta fase de estado estable se alcanza con mayor o menor rapidez en función de la cinética del consumo de oxígeno de cada individuo.

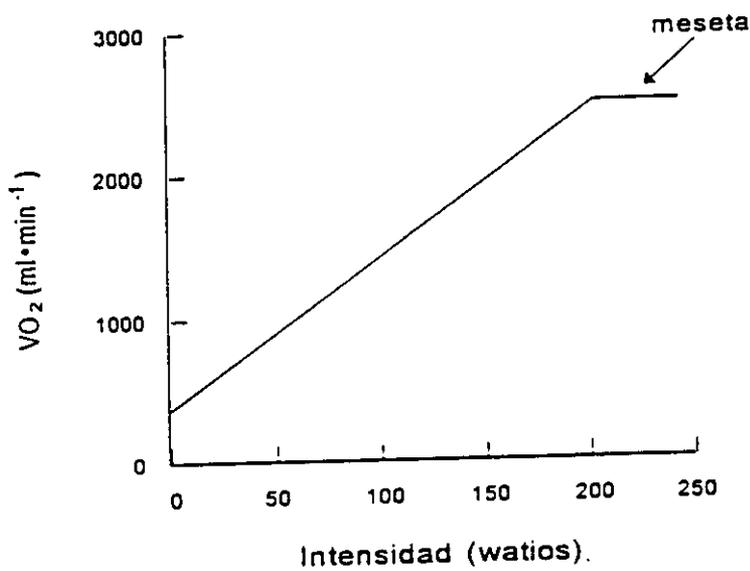


Figura 1 : Comportamiento del VO₂ durante la realización de un ejercicio incremental (tomado de Fernández Vaquero₈₁)

1.4.1.2.5. Concepto de VO_{2max} .

Se define VO_{2max} (consumo máximo de oxígeno) como la cantidad máxima de O_2 que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo. Se expresa normalmente en $ml \cdot min^{-1}$ o relativo al peso del sujeto en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.

Es muy variable entre individuos, y depende fundamentalmente de la dotación genética, la edad, el sexo, el peso y el grado de entrenamiento o de condición física. La condición aeróbica está en gran parte determinada genéticamente: la herencia puede condicionar hasta el 70% del VO_{2max} , dependiendo sólo un 20% del grado de entrenamiento que presente el sujeto.

El VO_{2max} también depende estrechamente de la edad. Desde el nacimiento aumenta gradualmente, en relación a la ganancia de peso. Los niños tienen un alto VO_{2max} normalizado al peso (especialmente al peso magro). Gradualmente va aumentando con la edad y se alcanza el máximo entre los 18 y 25 años.

En cuanto al sexo, para cualquier edad, es mayor en los hombres. En estas diferencias parecen intervenir varios factores, como condicionantes genéticos, hormonales e incluso la menor cantidad de hemoglobina que las mujeres presentan debido a los ciclos menstruales.

El VO_{2max} depende del peso, especialmente del peso magro: a mayor masa muscular mayor VO_{2max} . El grado de entrenamiento puede inducir aumentos sustanciales en la misma. Un cardiópata entrenado puede aumentar un 15%-20% su

nivel aeróbico, con la consiguiente mejora en su calidad de vida. En el mundo deportivo un atleta bien entrenado puede aumentar hasta un 20% su VO_{2max} .

1.4.1.2.6. Criterios para la determinación del VO_{2max} .

El VO_{2max} constituye una excelente valoración del estado del sistema de transporte de O_2 . Actualmente disponemos de sistemas de análisis del intercambio de gases respiratorios con tecnología de medida respiración a respiración muy fiables.

El problema consiste en disponer de datos objetivos para considerar que un sujeto realmente ha llegado a su máxima capacidad de esfuerzo y que por tanto hemos determinado su mayor VO_2 posible. Esos datos son los siguientes:

- a. **Meseta en la curva de VO_2** , de tal manera que aunque aumente la carga de trabajo no aumente el VO_2 o bien que el aumento sea inferior a $150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ en dos estadios sucesivos cuando se utilizan protocolos con aumentos de carga por estadios.
- b. **Concentración plasmática de ácido láctico de $8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.**
- c. **Cociente de intercambio gaseoso (RER) sea mayor que 1,1**
- d. **Frecuencia cardíaca máxima** se desvíe lo menos posible de la que teóricamente corresponda de acuerdo a la edad.

El criterio más fiable es la morfología en meseta, que desafortunadamente se

presenta en un limitado número de casos. Normalmente se utilizan los criterios a, c y d, que se completan con b cuando se utiliza la determinación de lactato sanguíneo. Por supuesto se valora también el grado de agotamiento subjetivo y la apariencia de agotamiento que presente el sujeto.

1.4.1.2.7. Valores normales.

Los valores más altos registrados han sido de 94 y 75 ml·kg⁻¹·min⁻¹ en esquiadores de fondo, varón y mujer respectivamente. En otros deportes se registran consumos más bajos.

La potencia aeróbica juega un papel trascendente en la ejecución de actividades militares de escasa intensidad y larga duración tales como la carrera o las marchas. La medida más utilizada es precisamente el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}). La determinación del VO_{2max}, como ya hemos referido, proporciona una información muy precisa de la capacidad de producir energía por este procedimiento, ya que cada litro de oxígeno consumido reporta, aproximadamente, 21 kilojulios (ó 5 kilocalorías) de energía producida.

Pueden emplearse, en función de las posibilidades de la ocasión, métodos máximos o submáximos de determinación. Con las salvedades de la mayor o menor precisión requerida, se aceptan unos métodos u otros₈₁.

Entre la población general, los sujetos normales los valores oscilan entre 35 y

45 ml·kg⁻¹·min⁻¹ en varones de 20 a 40 años y entre 30 y 40 ml·kg⁻¹·min⁻¹ en mujeres.

Entre las poblaciones militares estudiadas se describen cifras de VO_{2max.} entre 3,5 y 4,2 l·min⁻¹ (50 - 60 ml·kg⁻¹·min⁻¹) en varones, y de entre 2 y 2,8 l·min (40 - 50 ml·kg⁻¹·min⁻¹) en mujeres⁸². En la **tabla 1** se reproducen los valores promedios, comparados con los descritos entre la población militar^{81,83,84}

MILITARES (VARONES)	50 - 60 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
MILITARES (MUJERES)	40 - 50 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
Población general (varones)	35 - 45 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
Población general (mujeres)	30 - 40 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
Corredores (varones)	80 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
Corredoras (mujeres)	65 ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹

Tabla 1: Valores promedio de VO_{2max}

1.4.1.3. Umbral anaeróbico

1.4.1.3.1. Concepto de umbral anaeróbico

En 1924 Hill postuló⁸¹ y demostró que el aumento de la concentración de lactato en sangre que se observa durante la realización de un ejercicio se debía a un aporte inadecuado de oxígeno a los músculos que se están ejercitando en un determinado momento. A partir de ese momento han sido numerosos los autores⁸⁹ que han observado cómo durante la realización de un ejercicio de intensidad progresiva, la concentración de lactato no varía respecto a su concentración de reposo a ciertas intensidades, pero que a partir de una determinada carga de trabajo se produce una elevación progresiva de la concentración de lactato en sangre. Es decir, durante un ejercicio de intensidad cada vez mayor existe un momento a partir del cual las cifras de lactato plasmático que se mantenían en los niveles de reposo, comienzan a aumentar progresivamente.

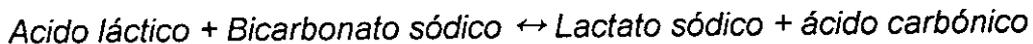
Sin embargo, hasta 1964 no se introduce por primera vez el término de umbral de metabolismo anaeróbico, cuando Wasserman y McIlroy⁸⁵ lo definen como "*la tasa de trabajo o VO_2 a partir de la cual se instaura una acidosis metabólica y ocurren cambios asociados en el intercambio gaseoso*". En este sentido, Wasserman defendió en aquella época que la respuesta al metabolismo anaeróbico durante el ejercicio podía ser detectada de tres formas:

- a. **Aumento** en la concentración de **lactato sanguíneo** con respecto a los niveles de reposo.
- b. **Disminución** en la concentración de **bicarbonato en la sangre arterial** asociada a un descenso del **pH**.
- c. **Aumento en el cociente respiratorio**.

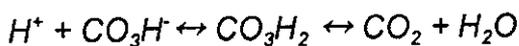
Posteriormente, muchos han sido los autores que han propuesto diferentes términos y expresiones en torno al concepto de umbral anaeróbico basándose en la metodología de determinación del mismo, y que se desarrollarán en el apartado referente a terminología en torno al umbral anaeróbico.

1.4.1.3.2. Bases fisiológicas del umbral anaeróbico

El ácido láctico posee un pK bajo (3.9) lo que hace que se disocie completamente en el medio interno. Este ácido disociado es tamponado fundamentalmente por el sistema bicarbonato de acuerdo al siguiente esquema:



El ión hidrógeno (H^+) que se deriva de la producción de ácido láctico es responsable de la siguiente reacción:



La enzima anhidrasa carbónica cataliza la reacción $CO_3H_2 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$, de tal forma que el CO_2 se forma rápidamente, evitando la aparición de desequilibrios importantes entre CO_3H_2 y el CO_2 . Este enzima se localiza en la superficie endotelial de los vasos musculares, si bien también se puede hallar de forma mucho menos activa en el interior de las células musculares.

Se forman aproximadamente 22 ml de CO_2 por cada mEq de ácido láctico amortiguado por el sistema bicarbonato. Ahora bien, como a la cantidad de CO_2 formado en esta reacción hay que sumar el formado como consecuencia del

metabolismo aeróbico, la producción total de CO_2 es desproporcionada en relación a la cantidad de oxígeno consumido.

El exceso de CO_2 producido debe ser eliminado al exterior merced a un aumento de la ventilación. De esta forma, la ventilación aumentará al formarse mayor cantidad de CO_2 en el organismo.

Cuando se realiza un trabajo físico de alta intensidad, la mayor concentración de H^+ que se produce como consecuencia del aumento en la producción de lactato, excederá la capacidad de los sistemas tampón de que dispone el organismo, provocando una disminución del pH sanguíneo. Este hecho estimulará directamente los quimiorreceptores periféricos respiratorios, lo que a su vez provocará un aumento desproporcionado de la ventilación y una reducción de la PCO_2 arterial y de la concentración plasmática de HCO_3^- debido a la compensación respiratoria.

Por tanto, cuando se realiza un trabajo físico a una intensidad por encima del punto que denominaremos más adelante umbral anaeróbico, la ventilación pulmonar responde al aumento de la pCO_2 procedente de dos fuentes:

- a. El **CO_2 formado** como consecuencia del metabolismo aeróbico, por degradación de los principios inmediatos hasta CO_2 y H_2O en el ciclo de Krebs.
- b. El **exceso de CO_2 resultante del tamponamiento del ácido láctico.**

Las diferentes escuelas han estudiado el comportamiento del ácido láctico durante la realización de un ejercicio incremental, mientras que otras han estudiado más los parámetros ergoespirométricos, diferenciándose de esta forma el umbral láctico del umbral ventilatorio.

El punto en el cual la concentración de lactato comienza a elevarse por encima de los valores de reposo se ha definido también como umbral láctico y, como veremos más adelante, existen diferentes formas para deteminarlo.

Por su parte, el punto en el cual la ventilación se intensifica de forma desproporcionada con respecto al oxígeno consumido se ha definido como umbral ventilatorio.

En la actualidad existe gran controversia acerca de la relación real entre estos dos umbrales, encontrándonos en la literatura trabajos que demuestran tanto la independencia de estos dos fenómenos, como estudios que demuestran evidentes nexos de unión entre estos dos umbrales. Independientemente de que una investigación continuada trae consigo la renovación y modificación de la terminología empleada en ciertos eventos, existe una renovación de las teorías propuestas para explicar los mecanismos responsables de los cambios observados durante la realización de ejercicios progresivos, lo cual obliga a la introducción de términos nuevos para expresarlos. Como resultado, han aparecido recientemente en la literatura términos nuevos que muchas veces hacen referencia a los mismos fenómenos.

En este sentido, queremos destacar principalmente un término, que

será uno de nuestros elementos de estudio en la fase experimental₈₆:

"OBLA" (siglas correspondientes a "*onset blood lactate accumulation*": "comienzo del acúmulo de lactato en sangre" en inglés) que para algunos autores corresponde a una concentración fija de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Además existen otros términos que se emplean para definir los distintos cambios ventilatorios y cambios en la concentración de lactato en sangre que se producen a intensidades submáximas de trabajo por encima del definido umbral anaeróbico.

De este modo, Skinner y McLellan en 1980₈₁, definen el umbral ventilatorio 2 ó VT_2 como "la intensidad de trabajo a partir de la cual existe una marcada hiperventilación que resulta en una disminución en la presión parcial de CO_2 en el aire del final de la espiración". Sin embargo, Wasserman en 1981 definió este punto como "punto de compensación respiratoria por acidosis metabólica".

El umbral láctico, y el umbral ventilatorio 1 (VT_1) se presentan a una intensidad de trabajo similar, de tal forma ocurre que el consumo de oxígeno es similar y

representa aproximadamente del 45% al 60% del VO_{2max} del sujeto y coincide con el término umbral aeróbico empleado por otros autores.

Por su parte, el OBLA y el VT_2 aparecen al mismo porcentaje de VO_2 , que suele ser del 75%-85% del VO_{2max} .

Para clarificar la controversia referida, existente en torno al término umbral anaeróbico, Skinner y McLellan (1980) propusieron un modelo trifásico que describiera la transición del metabolismo aeróbico al metabolismo anaeróbico durante la realización de un ejercicio incremental. Según este modelo, durante las primeras fases de un ejercicio incremental, cuando la intensidad es baja, se describe una fase 1 durante la cual aumenta la cantidad de oxígeno extraída por los tejidos, por lo que en el aire espirado disminuye la concentración fraccional de oxígeno (FEO_2). Además, la intensidad de producción de CO_2 es moderada, por lo que se eleva la concentración fraccional de este gas en el aire espirado ($FECO_2$). Como existe poca producción de lactato durante esta fase de estado estable a baja intensidad, los autores concluyen que esta primera fase involucra fundamentalmente al metabolismo aeróbico.

A medida que la intensidad del ejercicio aumenta, y una vez alcanzado un punto en torno al 40%-60% del VO_{2max} , se observa un incremento en la concentración de lactato en sangre que suele corresponder aproximadamente al doble del valor de reposo ($2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). A la vez, los iones H^+ producidos por el metabolismo del lactato

son amortiguados, fundamentalmente por el sistema del bicarbonato, produciendo como consecuencia un incremento continuo en la $FECO_2$. Por otro lado, el centro respiratorio se estimula para aumentar la ventilación, compensación respiratoria que resulta razonablemente efectiva.

Como el organismo no puede consumir más oxígeno que el necesario para reemplazar el ATP utilizado, la ventilación "extra" tiene como resultado una menor extracción de oxígeno por volumen de aire ventilado, obteniéndose como consecuencia un aumento de la FEO_2 .

Así, en esta etapa, definida como fase 2 por los autores, se observa un incremento no lineal en la ventilación y en el VCO_2 , un aumento en la FEO_2 sin una disminución adicional en la $FECO_2$, y una elevación de las concentraciones de lactato en sangre de aproximadamente $2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Por último, con una concentración de lactato en sangre de aproximadamente $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, si se sigue aumentando la intensidad del trabajo realizado, se produce un aumento continuo de dicho producto metabólico. Como respuesta, se intensifica aún más la ventilación y se produce un aumento continuo en VCO_2 cuyo fin es la compensación de la gran elevación de la concentración de lactato en sangre. Sin embargo, llegados a este punto, la ventilación no es capaz de compensar de forma adecuada el CO_2 acumulado en sangre. Por tanto, es posible observar una caída en la $FECO_2$, mientras que la FEO_2 continúa aumentando como consecuencia del aumento desproporcionado de la ventilación en relación a la extracción de oxígeno por

los tejidos periféricos. En resumen, la respuesta de esta fase 3 se caracteriza por un aumento brusco de la concentración de lactato, hasta aproximadamente $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, una disminución de la FECO_2 y una hiperventilación importante.

Considerando los eventos descritos anteriormente, Skinner y McLellan sugirieron una modificación de la terminología empleada en torno al umbral anaeróbico. Así, como el aumento inicial en la concentración de lactato en sangre y el incremento no lineal de la ventilación en la fase 2 están más ligados al reclutamiento de fibras tipo I y menos a la anaerobiosis, sugirieron que se denomine umbral aeróbico al punto en el que se producen estos hechos.

Por otra parte como el aumento abrupto en la concentración de lactato y la ruptura del aumento lineal de la ventilación que se observan en la fase 3 están más relacionados con la anaerobiosis y con el mayor reclutamiento de fibras tipo II, estos mismos autores sugieren que este fenómeno de la fase 3 se denomine umbral anaeróbico.

La mayoría de las técnicas no invasivas para la determinación del umbral anaeróbico se basan en los puntos de inflexión de las respuestas de la ventilación (VE), producción de CO_2 (VCO_2), cociente respiratorio (R), equivalente respiratorio para el oxígeno ($\text{VE}\cdot\text{VO}_2^{-1}$) y el equivalente respiratorio para el CO_2 ($\text{VE}\cdot\text{VCO}_2^{-1}$) de acuerdo al modelo trifásico expuesto anteriormente.

El error atribuido a la determinación subjetiva de tales puntos varía entre el 5% y el 10% según algunos autores.

El umbral anaeróbico determinado mediante el análisis del lactato es de gran facilidad de realización, utilización y reproductibilidad ⁸⁷. Definimos por umbral láctico la intensidad de ejercicio o VO_2 que precede inmediatamente al incremento inicial y continuo de la concentración sanguínea de lactato desde sus valores de reposo. El método clásico de determinación del umbral láctico es establecer de modo subjetivo (basándose fundamentalmente en la inspección visual o en técnicas de regresión) la carga anterior a la cual el lactato en sangre aumenta bruscamente o de forma significativa en el punto de ruptura ^{81, 83-88} (Ver **Figura 2**).

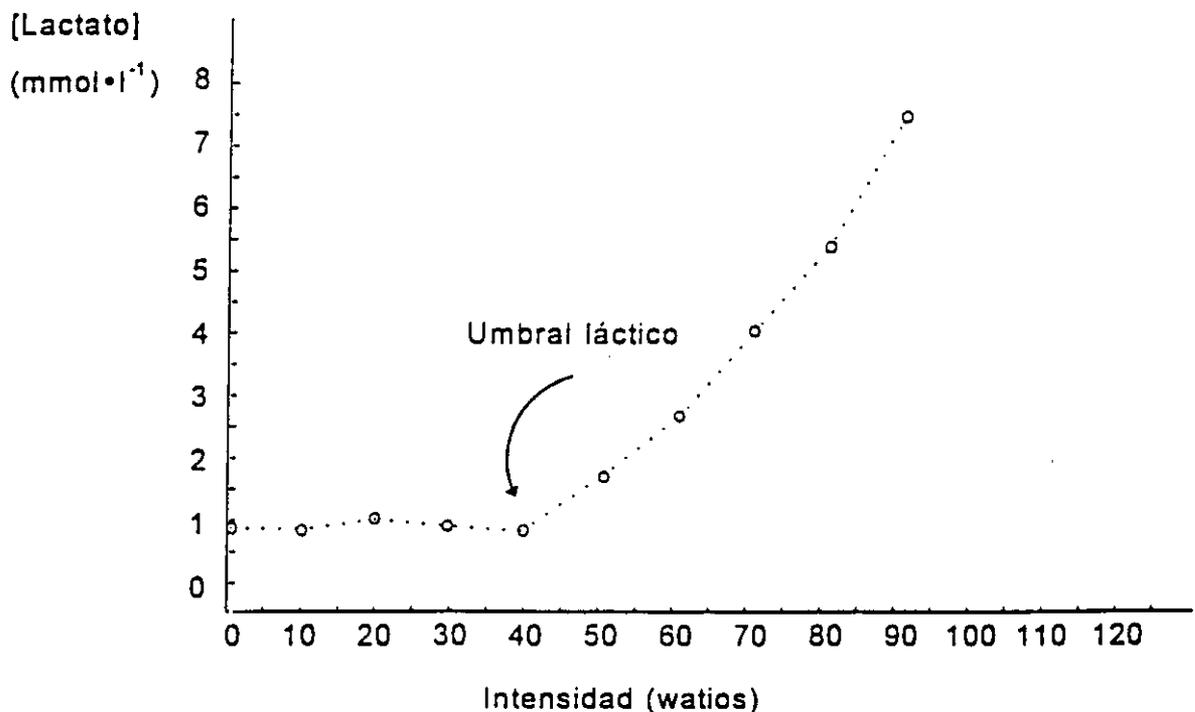


Figura 2: Determinación del umbral láctico (según Fernández Vaquero⁸¹)

1.4.1.4. Respuesta al entrenamiento de la condición aeróbica

Se ha demostrado suficientemente que el entrenamiento aeróbico, a través de las adaptaciones propias producidas por la carga utilizada produce un incremento del $VO_{2\text{máx}}$ tanto en volumen sistólico máximo, como en la diferencia en la concentración arteriovenosa de oxígeno₈₄.

Esta ventaja para utilizar el oxígeno durante el ejercicio máximo, puede ser potencialmente mejorada, si somos capaces de influir en cualquiera de estos escalones:

- a. El movimiento del **oxígeno** hacia el interior del cuerpo, y posteriormente hasta su llegada a la sangre.
- b. La capacidad de bombeo del **corazón**.
- c. La **circulación periférica** de la sangre.
- d. Las vías metabólicas oxidativas de los **músculos esqueléticos**.

Es sabido que la presión parcial de oxígeno en sangre arterial, a nivel del mar, no sufre apenas modificaciones, desde el reposo al máximo esfuerzo₈₄. Por consiguiente el transporte de oxígeno hasta los tejidos activos no parece encontrarse limitado por la capacidad ventilatoria, ni por la difusión.

En sujetos sedentarios, la capacidad del sistema respiratorio para proporcionar

oxígeno a la sangre excede la capacidad del sistema cardiocirculatorio para proporcionar oxígeno al músculo, y la capacidad del propio músculo para utilizarlo₉₀.

La capacidad del corazón para bombear sangre puede ser considerada como una consecuencia del entrenamiento aeróbico₈₄. El gasto cardíaco de reposo no parece verse influido por el entrenamiento aeróbico₈₄.

Sin embargo, si comparamos los atletas de resistencia bien entrenados con sujetos no entrenados, se describen diferencias de casi el doble del volumen cardíaco máximo. Esto se debe a la modificación del volumen sistólico, ya que el entrenamiento aeróbico apenas influye en la frecuencia cardíaca máxima₉₁. Por consiguiente cuanto mayor sea el volumen sistólico, mayor va a ser la capacidad máxima de bombeo del corazón. Esto se atribuye a varios aspectos₉₂:

- a. Aumento de la **cámara del ventrículo izquierdo**.
- b. Aumento del **volumen telediastólico** (tanto en reposo como en ejercicio).
- c. Disminución del **volumen telesistólico** durante el **ejercicio**.
- d. Aumento de la **masa muscular del ventrículo izquierdo**.
- e. Disminución de la **resistencia periférica** (tras la carga).

El aumento del flujo sanguíneo periférico durante el ejercicio máximo en sujetos entrenados es debido, en parte, a la disminución de la resistencia periférica total. Si bien esto no se conoce en profundidad, se supone que se debe a un aumento del

número de capilares del músculo esquelético entrenado en resistencia⁹³. Este aumento, junto con la vasodilatación local generada por el ejercicio, reduce la resistencia periférica durante el ejercicio máximo, consiguiendo un aumento del bombeo cardíaco, en estos sujetos con entrenamiento aeróbico.

Por tanto, el aumento de la potencia aeróbica, expresado como $VO_{2\text{máx}}$, no se debe al incremento de la ventilación máxima, ni de la difusión, ni al de la frecuencia cardíaca, sino a un aumento en el volumen sistólico del corazón, a una mejoría de la contractilidad miocárdica, a un aumento del bombeo cardíaco, y al incremento de la capacidad de aprovechamiento del oxígeno sanguíneo por parte de las células musculares en actividad.

El $VO_{2\text{máx}}$ está relacionado tanto con el aporte y utilización de oxígeno tisular, como con el volumen sistólico y la diferencia arteriovenosa de oxígeno.

El aporte de oxígeno a los músculos activos está determinado primordialmente por la función de bombeo del corazón. El entrenamiento de resistencia aumenta el volumen sistólico durante el ejercicio submáximo y máximo^{94y95}. Los mecanismos mediante los cuales se produce este efecto no están claros, pero podrían incluir una disminución en la postcarga, un incremento en el tamaño ventricular, y un aumento de la volemia^{96y97}.

La frecuencia cardíaca máxima generalmente no se modifica con el entrenamiento. Como el gasto cardíaco es producto del volumen sistólico y de la frecuencia cardíaca, el gasto cardíaco máximo se incrementa al incrementarse el

volumen sistólico, y permite un mayor aporte de oxígeno a los músculos esqueléticos en funcionamiento.

La capacidad de aprovechamiento del oxígeno por parte de los músculos esqueléticos es otro elemento de importancia en la mejoría del VO_{2max} . Existen diversas explicaciones para comprender este fenómeno. El entrenamiento aeróbico permite un incremento de la densidad de capilares en el músculo activo^{98y99}. El incremento de la densidad capilar, que hace que se incremente el flujo sanguíneo muscular, y por consiguiente mejore la difusión tiene una gran importancia.

Otro elemento a considerar es la mejoría de la capacidad oxidativa del músculo. El entrenamiento aeróbico induce un aumento tanto en el tamaño como en el número de mitocondrias en las células musculares, así como en las enzimas oxidativas musculares.

Durante el entrenamiento se pueden esperar incrementos del VO_{2max} en torno al 10 o al 20 %. Los sujetos jóvenes suelen incrementarlo a costa del aumento del gasto cardíaco, y la diferencia arteriovenosa de oxígeno a partes iguales durante un entrenamiento de 2 a 3 meses¹⁰⁰. Con entrenamientos intensivos de mayor duración probablemente se podrían conseguir un mayor gasto cardíaco que incrementase aún mas el VO_{2max} .

Además de estos aspectos, los factores periféricos podrían limitar la potencia aeróbica. Mediante el entrenamiento de resistencia se puede incrementar la capacidad oxidativa, permitiendo al metabolismo oxidativo aumentar su cuota

proporcional de aporte energético, y por consiguiente minimizar la aparición de lactato durante el ejercicio submáximo. Probablemente aparecen otros elementos producidos por el entrenamiento aeróbico que retrasan el umbral anaeróbico, como son la optimización de la vascularización periférica, con un incremento en la densidad capilar; un incremento en la capacidad oxidativa a nivel celular; y ciertas modificaciones en los patrones de reclutamiento muscular, que produce un retraso en la activación de las fibras musculares de contracción lenta durante el ejercicio incremental.

Existen una serie de elementos que influyen en el entrenamiento aeróbico. Los más importantes son: el genotipo, la capacidad física inicial, el sexo, y la edad.

El genotipo juega una baza de enorme importancia en las modificaciones del VO_2 acaecidas por el entrenamiento aeróbico, y se considera que es enormemente difícil poder predecir con exactitud la respuesta individual al entrenamiento sin un conocimiento profundo del contenido genético del sujeto⁸³.

La condición física previa al entrenamiento es responsable de entre el 15 y el 35 % de las variaciones experimentadas por los sujetos en el entrenamiento aeróbico¹⁰¹⁻¹⁰³.

Aunque hay claras diferencias en los niveles del VO_{2max} entre hombres y mujeres, esto no quiere decir que hombres y mujeres respondan al entrenamiento de manera diferente¹⁰⁴⁻¹¹⁰. Está bien documentado que hombres y mujeres presentan adaptaciones al ejercicio muy semejantes.

En un estudio de Daniels y cols (1979) realizado sobre cadetes de la Academia

Militar de West Point,¹⁰⁴ se observó que los varones no mejoraban sustancialmente su potencia aeróbica, y que la diferencia inicial entre hombres y mujeres, con respecto a la misma, se reducía del 22 al 18 % en el período de instrucción básico de 6 semanas.

El VO_{2max} disminuye con la edad,¹¹¹⁻¹¹³. Después de los 25 años acontece un declinar del VO_{2max} progresivo, de en torno al 1 % o $0,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ cada año. Esta disminución es debida en parte a la disminución de la masa muscular con el incremento de la edad. Los adultos activos son mas capaces de mantener las cifras que los sedentarios.¹¹⁴

1.4.1.4.1. Efectos sobre la potencia aeróbica máxima

Según habíamos expresado anteriormente, el máximo consumo de oxígeno, o potencia aeróbica máxima, es un buen índice global de la capacidad aeróbica del organismo. Este índice sólo en parte depende de la capacidad oxidativa de los músculos. El VO_{2max} depende también del enlace de oxígeno en los eritrocitos. Además, una serie de trabajos clásicos confirman que el VO_{2max} se establece principalmente mediante variables cardiovasculares.

Se pueden encontrar numerosos estudios donde se indica la relación existente entre los valores de VO_{2max} individuales y la capacidad de resistencia.^{115,116} La gran capacidad de resistencia en las carreras de velocidad, potencia, fuerza y habilidad no está relacionada con el VO_{2max} . El resultado normal de los atletas de resistencia es

que cuanto más larga sea la distancia principal, mayor es el máximo consumo de oxígeno. No obstante, con el entrenamiento se pueden producir cambios en el rendimiento de carrera, sin que se produzcan cambios equivalentes en el VO_{2max} 117.

Al estudiar a un grupo heterogéneo de personas con capacidades atléticas bastante diferentes, se averiguó que el VO_{2max} es un buen intérprete de la capacidad de resistencia. Sin embargo, es un mal parámetro cuando se evalúa a atletas con una capacidad similar. Cuando se compararon a dos atletas con el mismo VO_{2max} , resultó ser más rápido el corredor con una mayor economía de carrera. Puede haber casos en que corredores con unos valores de VO_{2max} bastante diferentes, tengan la misma capacidad de carrera.

El factor que predice la capacidad de resistencia puede estar relacionado con la "potencia muscular", medida como la máxima carga de trabajo durante una carrera máxima sobre un tapiz rodante.

Tanto el entrenamiento de fuerza como de velocidad parecen ineficaces para incrementar la capacidad funcional del sistema cardiovascular. Sin embargo, estos resultados concuerdan con la observación de que la capacidad del sistema transportador de oxígeno sólo puede medirse en ejercicios lo suficientemente intensos.

El mayor VO_2 se midió durante la ejecución del ejercicio para el cual había sido específicamente entrenado¹¹⁷. Ya habíamos señalado que la evaluación ergométrica

de los sujetos sometidos a actividad física es tanto más real cuanto más semejante es el ejercicio aplicado en laboratorio, al que suele ser entrenado. La especificidad del entrenamiento ha sido apoyado por los investigadores que estudian los cambios de VO_2 producidos por el entrenamiento y medidos en varios ejercicios. Se hallaron diferencias significativas cuando se comparó el VO_{2max} en carrera, frente a otras actividades, como la natación, remo, etc. La especificidad de la respuesta al entrenamiento también se halla con respecto a los grupos de músculos utilizados en el entrenamiento frente a los utilizados en las pruebas de laboratorio.

Un efecto específico del entrenamiento de resistencia aeróbica puede que no sea sólo la mejora de la potencia aeróbica máxima, medida como VO_{2max} , sino también una mayor capacidad para ejecutar ejercicios aeróbicos prolongados (máxima capacidad aeróbica). El entrenamiento aeróbico durante un periodo de 20 semanas intensificó la potencia media aeróbica máxima en un 33% y la capacidad aeróbica máxima en un 51%. Esta última se calculó como el trabajo total desarrollado durante una prueba máxima de 90 min. en un cicloergómetro¹¹⁸.

En un estudio realizado sobre 8 semanas con carrera continua, o gimnasia aeróbica, a intensidades que producen elevaciones en la frecuencia cardíaca de 140 a 150 lpm, o de 165 a 175, se apreciaban incrementos significativos en el VO_{2max} , tanto en la intensidad propia del "aerobic", como en las intensidades algo mayores de la carrera.

El entrenamiento de carrera a baja intensidad, así como los regímenes de

ejercicios anaeróbicos (carreras interválticas o gimnasia aeróbica con un uso periódico de ejercicios de intensidades anaeróbicas) no resultan eficaces. Sin embargo, cuando el programa de entrenamiento consistió en llevar a cabo continuas carreras de baja intensidad durante las primeras 3 semanas, posteriormente continuas carreras a intensidades superiores (durante 2 semanas) y finalmente 2 semanas de entrenamiento interváltico, se detectó un significativo incremento tanto en universitarios masculinos como femeninos¹¹⁷.

Estos resultados nos hacen tener en cuenta dos conclusiones fundamentales:

- a. Existe un **nivel óptimo de intensidad de ejercicio** para la mejora del VO_{2max}
- b. El **entrenamiento anaeróbico es más útil**, cuando se ha entrenado la **condición aeróbica con anterioridad**.

Numerosos estudios indican la efectividad del entrenamiento interváltico para la mejora de VO_{2max} . Evidentemente, la intensidad del ejercicio empleado y el nivel físico previo de los sujetos estaban aplicados proporcionalmente.

Se constató que en el entrenamiento interváltico anaeróbico, el factor más importante, en la mejora de VO_{2max} es la intensidad del ejercicio y no la distancia. Las ganancias de VO_{2max} fueron independientes de la frecuencia de entrenamiento tanto en varones como en mujeres. Durante un periodo de entrenamiento interváltico de 8

semanas (3 veces por semana) aumentó el nivel de VO_{2max} . El régimen de entrenamiento establecido en periodos de tres minutos, fue más efectivo que el de 15 seg.¹¹⁷.

Los programas de entrenamiento interválico de 8 semanas (3 días por semana) produjeron un incremento de VO_{2max} similar entre carreras de 30 seg. con 19 repeticiones a una velocidad de carrera en tapiz rodante entre 15 y 17 $km.h^{-1}$ o carreras de 120 seg. con 7 repeticiones a una velocidad de entre 10 y 12 $Km.h^{-1}$ (con inclinación en ambos casos de entre 5 a 12 grados en ambos casos, descansos a intervalos hasta que la frecuencia cardíaca disminuyera hasta 120 o 140 latidos por minuto). En ningún caso hubo cambios en la cantidad de lactato acumulado en sangre durante carreras de 4 a 8 min. hasta el agotamiento.¹¹⁷.

No obstante, teniendo en cuenta la experiencia de la práctica deportiva, no puede haber duda sobre el efecto del entrenamiento interválico en la capacidad anaeróbica. En corredores, un periodo de entrenamiento interválico suele mejorar los resultados de las medias distancias más que cualquier otro mecanismo de medida para mejorar la resistencia.

Los elevados incrementos que se observan en los niveles de lactato sanguíneo, y la disminución del pH por debajo de 7.0 durante una sesión de entrenamiento interválico, hacen patente el gran esfuerzo por parte del metabolismo anaeróbico.

La acumulación de lactato depende de la duración tanto de la fase de ejercicio como de la de descanso entre repeticiones. Por ejemplo, parece que correr cuesta arriba de forma repetida produce una mejora combinada de VO_{2max} , potencia muscular en las piernas y en los índices de la capacidad anaeróbica¹¹⁷.

En contraste con el entrenamiento de resistencia aeróbico y anaeróbico, el entrenamiento de fuerza con grandes cargas no produce un incremento en el consumo máximo de oxígeno¹¹⁹. Los levantadores de peso y los fisiculturistas muestran valores de VO_{2max} similares o ligeramente superiores a sujetos no entrenados. El entrenamiento simultáneo en resistencia y fuerza no afecta al grado de potencia aeróbica producida por el entrenamiento de resistencia simple. La situación puede modificarse en dos casos: 1) cuando el ejercicio de fuerza moderada se repite durante un periodo prolongado con descansos cortos entre repeticiones; y 2) cuando se aplican cargas de trabajo muy grandes.

En los corredores, la mejora de VO_{2max} estuvo en correlación con el volumen total de ejercicios de carrera, el volumen de ejercicios aeróbicos, y con el volumen de ejercicios anaeróbicos durante una temporada de entrenamiento anual. Se invirtió la relación entre la mejora de VO_{2max} y el volumen de ejercicio anaeróbico.

1.4.1.4.2. Efectos sobre el umbral anaeróbico

Los efectos del entrenamiento sobre la mitocondria permite que se utilice la fosforilización oxidativa para la resíntesis del ATP durante la ejecución de ejercicios cada vez más intensos. El umbral anaeróbico es una medida cualitativa de la máxima intensidad del ejercicio, que se sustenta sobre la fosforilización oxidativa, sin un prolongado uso de los mecanismos de energía anaeróbica. Por decirlo de una manera más sencilla, el umbral anaeróbico expresa la máxima intensidad del ejercicio durante la ejecución del mismo y cuyo nivel de formación de piruvato aún no sobrepasa el máximo nivel de fosforilización oxidativa. Según esto, el lactato que se ha formado puede ser oxidado o utilizado para la gluconeogénesis por los músculos que no trabajan, el corazón y el hígado. Hasta este punto, existe un equilibrio entre la formación del lactato y su eliminación.

Puesto que el máximo consumo de oxígeno se consigue con un nivel de ejercicio que produce una acusada acumulación de lactato, la intensidad del ejercicio a nivel VO_{2max} no indica el máximo rendimiento sobre la base de la resíntesis aeróbica del ATP. Existe una estrecha relación de estas variables a lo largo de las primeras 3-4 semanas de entrenamiento. Por consiguiente, el incremento de VO_{2max} se modera, pero la actividad de las enzimas mitocondriales continúa incrementando. El VO_{2max} de los atletas puede ser dos veces la de las personas no entrenadas, mientras que la

actividad de las enzimas mitocondriales de los músculos es de tres a cuatro veces mayor que la de los individuos sedentarios. Cuando se lleva a cabo un entrenamiento discontinuo, la actividad de las enzimas oxidativas desciende a su nivel inicial en 2 ó 4 semanas. Sin embargo, el VO_{2max} suele permanecer alto durante 6 semanas al menos.

El umbral anaeróbico es una variable que predice con bastante exactitud la capacidad de resistencia de los sujetos, sobre todo en carreras de 10 a 42 km. En los corredores de maratón, se halló que existía una gran relación entre las velocidades de carrera determinadas a unos niveles de 2.5, 3, y 4 mmol.l⁻¹ de lactato sanguíneo y la velocidad de carrera del maratón₁₇₃. Las carreras a ritmo de maratón no causaron un cambio en el pH; el lactato sanguíneo incrementó de 2.2 a 3.5 mmol.l⁻¹.

El umbral anaeróbico tiene una estrecha correlación con el rendimiento en las marchas. El factor de economía en actividades submáximas, que en parte determina la velocidad en el umbral anaeróbico, está más relacionado con el rendimiento en las marchas que en las carreras.

El umbral anaeróbico (VT_2) aparece con una intensidad de ejercicio entre 75 a 90% de VO_{2max} . Entre un 75 y 80% de VO_{2max} , el nivel de renovación de ATP es lo suficientemente alto como para elevar las concentraciones de ADP, AMP, P_i , y H^+ , estimulando la glicolisis. Por consiguiente, aproximadamente a un 75% del VO_{2max} , el lactato empieza a acumularse en los músculos (sobre todo en las fibras de tipo II) y en

la sangre. En los velocistas de élite de larga distancia, el umbral anaeróbico es de un 85 a 90% de VO_{2max} y en los esquiadores de un 75 a 80% de VO_{2max} . La diferencia está relacionada con los niveles más altos de VO_{2max} de los esquiadores. No obstante, para predecir el nivel de rendimiento de la resistencia, la intensidad del ejercicio en el umbral anaeróbico es más importante que el porcentaje de VO_{2max} a esta intensidad de ejercicio. La velocidad máxima de carrera a nivel de lactato sanguíneo de $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ se halló en corredores de 10.000 m. o en corredores de maratón.

Como ya se ha expresado con anterioridad, una herramienta útil para mejorar el umbral anaeróbico es el entrenamiento de resistencia aeróbica. El entrenamiento aeróbico es más efectivo a intensidades de ejercicio correspondientes al umbral anaeróbico o a una intensidad ligeramente superior a la del umbral anaeróbico.

Según las diferencias en los efectos del entrenamiento anaeróbico y aeróbico, el umbral anaeróbico constituyó el $65 \pm 0,3\%$ de VO_{2max} en nadadores-velocistas, en comparación con $90,4 \pm 0,1\%$ en los nadadores-esquiadores¹²⁰. La especificidad del efecto del entrenamiento sobre el umbral anaeróbico se encuentra sobradamente demostrada. En el caso de un protocolo de entrenamiento semejante, las carreras tuvieron como resultado mejoras en el umbral anaeróbico tanto en ciclistas como en corredores, con una mayor mejora en el umbral anaeróbico de carrera.

1.4.1.4.3. Efectos sobre el rendimiento

Un aspecto destacable de la capacidad oxidativa de los músculos entrenados garantiza la posibilidad de utilizar una menor fracción de ésta para la realización de ejercicios de intensidad moderada.

De acuerdo con ello, se considera que un buen resultado en carreras de fondo depende de la utilización económica de una capacidad aeróbica bien desarrollada y la capacidad de emplear una amplia fracción de esa capacidad con una acumulación mínima de ácido láctico.

Este efecto específico del entrenamiento ha sido considerado en varios trabajos, y se ha confirmado su significado para la capacidad de resistencia.

La economía del ejercicio correspondiente al empleo de una determinada cantidad de la capacidad aeróbica para un ejercicio dado, parece relacionarse con el entrenamiento, especialmente en dos aspectos: por un lado con respecto al efecto específico que el entrenamiento tiene sobre los enzimas oxidativos de los músculos activos; y por otro lado la mejoría específica en la coordinación muscular, que permite un mejor aprovechamiento biomecánico de la fuerza muscular, y por tanto de la eficacia general¹²¹.

1.4.1.4.4. Efectos sobre el sistema cardiovascular

El efecto del entrenamiento de resistencia se manifiesta en relación con los cambios adaptativos en la estructura y en la función de los sistemas funcionales responsables del consumo y del transporte del oxígeno.

Según Newsholme y cols. (1986)¹²², el incremento del flujo sanguíneo tiene una importancia trascendental en el trabajo muscular, quizá con alguna excepción como podría ser la de los velocistas de 100 metros.

Se conoce desde finales del pasado siglo, la existencia de hipertrofia cardíaca, que se ha atribuido a una característica propia del entrenamiento de resistencia. Posteriormente, los estudios radiológicos confirmaron este hecho. El efecto del crecimiento cardíaco en deportistas de resistencia parece deberse tanto a la hipertrofia miocárdica, como al aumento de las cavidades del corazón. Las dilataciones producidas por un bajo tono miocárdico durante el reposo y por un alto grado de contractilidad y tono miocárdico en situaciones de esfuerzo producido o bien por el ejercicio, o por otros factores. Este aspecto es el resultado habitual del entrenamiento de resistencia. Una manifestación de la dilatación reguladora es el volumen residual sanguíneo aumentado en el corazón en condiciones de reposo, y su utilización casi máxima para el incremento del volumen sistólico durante el ejercicio. En reposo los atletas de resistencia muestran una relación volumen residual frente a volumen sistólico de 3:1.

En corredores y ciclistas de larga distancia, la masa ventricular izquierda se vió significativamente aumentada con respecto a lo sujetos sedentarios. Esto se produjo como consecuencia del espesamiento del septo intraventricular y de la pared posterior ventricular izquierda, así como por el ensanchamiento del diámetro interno ventricular izquierdo¹²³. Aunque la pared ventricular izquierda se ensanchó en levantadores de peso, su masa ventricular izquierda no se vió significativamente aumentada en comparación con sujetos sedentarios.

Morganroth y cols. (1975)¹¹⁷ consideraron que el efecto del entrenamiento sobre el corazón en los atletas de fuerza produce una hipertrofia concéntrica, como diferenciación al efecto que aparece en los atletas de resistencia, causada por la mayor carga de trabajo durante los ejercicios estáticos o de fuerza, y al predominio del trabajo de volumen durante los ejercicios dinámicos. Sin embargo, no todos los autores están de acuerdo con estos resultados, y suelen encontrar estos hallazgos cuando el entrenamiento ha sido más prolongado, como defiende Pust y cols. (1980)¹¹⁷. Como decíamos, la hipertrofia miocárdica no es un resultado indiscutible del entrenamiento de resistencia, ni de cualquier otro entrenamiento de ejercicio. Por ejemplo, en un estudio de 271 miembros del equipo olímpico italiano, Peronnet y cols (1980)¹¹⁷ detectaron una acusada hipertrofia cardíaca en sólo 23 deportistas (9 ciclistas, 9 remeros, 2 jugadores de baloncesto, 1 jugador de balonmano, y 2 levantadores de peso). Hace más de 10 años se llegó a la conclusión de que el gran volumen del

corazón de los atletas se debe primordialmente a aspectos genéticos o bien a un entrenamiento intenso desde muy jóvenes.

1.4.1.5. Estudios experimentales sobre la respuesta al entrenamiento aeróbico militar

Se han realizado numerosos estudios sobre el efecto fisiológico producido por el entrenamiento militar en la capacidad y en la potencia aeróbica.

La condición aeróbica se emplea habitualmente como uno de los parámetros fundamentales en la selección del personal militar.¹²⁴

La potencia aeróbica máxima, determinada por el VO_{2max} , es el elemento más utilizado para conocer el rendimiento aeróbico. El VO_{2max} se mide de forma directa en algunas ocasiones, y de manera indirecta en otras. Suelen utilizarse protocolos en tapiz rodante, cicloergómetros, o en algunas ocasiones test de escalón, o test de carrera.

Según podemos comprobar en la **tabla 2**, en Canadá se estudiaron los efectos de la instrucción militar básica por Allen y Tatarchuk (1971)¹²⁶ en un período de 10 semanas en 118 oficiales cadetes varones. El VO_{2max} se estimó mediante cicloergometría submáxima. El VO_{2max} predicho aumentaba de 39,7 a 46,7 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$

PAÍS (Refer.)	Número de sujetos	Tiempo (semanas)	Variable estudiada	Valor inicial	Mejoría (en %)
Canadá ₁₂₆	118 ♂	10	VO _{2max} * (Ciclo)	40	18
Dinamarca ₁₂₇	137 ♂	12	VO _{2max} * (Ciclo)	45	6
			m	2382	7
Nueva Zelanda ₁₂₈	50 ♂	5	tiempo	10'18''	-9
		10	2,4 Km		-14
Finlandia ₁₂₉	75 ♂	19	m	2760	2
EEUU ₁₃₀	254 ♂	14	VO _{2max} * (Ciclo)	42	8
Holanda ₁₃₁	248 ♂	8	m	2447	1
	341 ♂			2399	1
EEUU ₁₃₂	186 ♂	7	VO _{2max} * Tapiz	51	8
	159 ♀			38	0
EEUU ₁₃₃	60 ♀	7	VO _{2max} * Tapiz	43	10
EEUU ₁₃₃	30 ♂	7	VO _{2max} * Tapiz	59	2
	30 ♀			46	8
	30 ♂		tiempo	9'26''	-6
	30 ♀			11'52''	-8
EEUU ₁₃₄	87 ♂	7	VO _{2max} * Tapiz	51	3
	57 ♀			37	7
EEUU ₁₃₅	90 ♂	7	VO _{2max} * - Ciclo	46	13
	113 ♀		- Cajón	38	10

Tabla 2: Efecto de la instrucción militar sobre VO_{2max} * ml·kg⁻¹·min⁻¹

con un incremento por consiguiente del 17,5 %. Esta gran mejoría probablemente se debe a los niveles iniciales bajos del VO_{2max} . Se encontró una correlación inversa entre el nivel físico inicial y la mejoría lograda. Se deben citar, también los estudios de Myles y cols. (1979) en este mismo país¹³⁶.

En Dinamarca, Hartling y cols. (1975) siguió el entrenamiento de 137 reclutas varones durante 3 meses¹²⁷. En este grupo, que puede apreciarse en la **tabla 2**, se apreció un resultado más pobre, incrementando tan solo un 6 % el VO_{2max} , de 45 a 48 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Estos estudios se realizaron con cicloergómetro. El resultado del test de 12 minutos de carrera mejoró un 7 % (2382 a 2561 m). Esto nos hace insistir de nuevo en la gran dependencia que tiene el rendimiento del nivel físico previo. Alrededor de un tercio de los reclutas que tenían un alto VO_{2max} ($>52 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) al incorporarse al servicio militar perdieron hasta un 20 % después del primer período de instrucción. La explicación más probable pudiera ser que los soldados que se encontraban en mejor forma física al ingresar no considerasen tanto el entrenamiento para mantener esa forma física como un reto a asumir. Se considera por tanto que se debería tender a una personalización de la preparación física y el entrenamiento físico militar.

En Nueva Zelanda (1982) se estudiaron las modificaciones acaecidas en 50 reclutas del Ejército de Tierra, en un período de instrucción básica de 10 semanas de duración¹²⁸. El rendimiento del test de carrera de 2,4 Km mejoró un 9 % tras 6 semanas y un 16 % tras las 10 semanas referidas, partiendo de una media inicial de 10'18". El VO_{2max} se determinaba de manera indirecta a partir del resultado del test de carrera

descrito. Considerando que el VO_{2max} mejoró de 48 a 56 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, lo que representa el 16 % de las cifras descritas. Todos los reclutas con un VO_{2max} inferior a 58 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ mejoraban con el entrenamiento, mientras que los que lo tenían mejor al comienzo disminuían esas cifras. se sugiere que el entrenamiento iba dirigido a conseguir un VO_{2max} de entre 56 y 60 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.

En Noruega (1991), se estudió un grupo de cadetes de la Academia Militar, tras un ejercicio táctico de 4 días de duración, sin posibilidad de disponer de un tiempo determinado para dormir, y prácticamente sin alimentación. El consumo de oxígeno se incrementaba un 15 %, disminuyendo la eficiencia mecánica¹³⁷.

En el Ejército de la antigua Yugoslavia (1989) se efectuó un estudio semejante, con especial hincapié en la importancia del estado nutricional⁶⁹.

En 37 reclutas varones en Finlandia (1982) se estudió el efecto del entrenamiento militar elemental durante 5 meses¹²⁹. Ese entrenamiento produjo una discreta mejoría de unos 60 metros, que representaba el 2,2 % de incremento de la distancia recorrida en el test de 12 minutos. La explicación de estos resultados habremos probablemente de buscarla en el buen nivel físico que los sujetos tenían al incorporarse a filas, que corrían 2760 metros en el test previo al entrenamiento. Aquellos soldados que disponían de mejores marcas antes del entrenamiento normalmente no mejoraban, o incluso empeoraron los resultados, mientras que se objetivaba una mejoría de entre el 13 y el 17 % de los soldados que corrieron por debajo de la media. Una vez más esto nos hace subrayar la tremenda importancia que

tiene el nivel físico que disfruta el recluta al incorporarse a la Unidad.

También en Finlandia, Viitasalo y cols. (1982), estudian un grupo de 75 reclutas varones, sometidos a un Período de Instrucción Básico de 5 meses de duración, y encuentra una homogenización de la capacidad aeróbica determinada mediante el Test de Cooper₁₃₈, así como una homogenización de la fuerza máxima en pruebas isométricas ₁₃₉₋₁₄₁.

En el Ejército de Tierra del Reino Unido (1978)₁₃₀ se estudiaron las modificaciones experimentadas en el VO_{2max} de 254 soldados durante un entrenamiento de 2 meses. El VO_{2max} se predijo mediante cicloergometría. El VO_{2max} estimado mejoraba en torno a un 8 %, desde 42 a 45,3 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ mediante el entrenamiento. Los reclutas con un VO_{2max} medido en cicloergómetro a partir de 45 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, que puede equipararse a 52 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ en tapiz rodante, no experimentaban apenas mejoría, o incluso las cifras decrecían. El resultado de este estudio nos muestra que la instrucción física militar básica es útil para mejorar el VO_{2max} en aquellos reclutas que lo tenían bajo, pero no en los que ya presentaban unos niveles adecuados.

En Holanda (1991), se estudiaron unos soldados antes y después de 4 meses de entrenamiento militar básico₁₃₁ (**tabla 2**). La distancia recorrida en el test de 12 minutos a lo largo del período de instrucción. Al empezar recorrían una media de 2399 m., y al terminar recorrían 2417 m. Es curioso destacar que la mejoría del resultado obtenido en la prueba de 12 minutos era inversamente proporcional al número de

lesiones de sobreesfuerzo, y no tenía correlación con las lesiones agudas sufridas.

Vogel y cols. (1977) estudiaron un grupo de militares del Ejército de Tierra de los EEUU (**tabla 2**). Analiza un grupo de 186 varones y 159 mujeres, a quienes les somete a un entrenamiento básico de 7 semanas, y determina VO_{2max} mediante ergometría en tapíz rodante, observando una mejoría del 8 % en varones, aunque el grupo femenino no experimenta mejoría alguna¹³².

Daniels y cols. (1978) (**tabla 2**) compara mediante tapíz rodante y carrera de 2,4 km, los resultados de la instrucción básica de 7 semanas en dos grupo de soldados de 30 hombres y 30 mujeres. Comprobó una mejoría de VO_{2max} , cuando se determinaba mediante la ergometría en tapiz, que no se acompañaba de mejoría en la carrera de 2,4 km¹³³. Este mismo grupo, analizando un grupo de mujeres en instrucción básica de 7 semanas, obtiene una mejoría semejante al referido, siendo en este caso las determinaciones aplicadas únicamente con estudio en tapiz rodante.

Patton y cols. (1980) (**tabla 2**), también en el Ejército de Tierra de los EEUU, estudia un grupo de militares de 87 varones y 57 mujeres, donde identifica una mejoría del 3 % en varones y 7 % en mujeres, tras la instrucción básica de 7 semanas, medido en tapiz¹³⁴.

Teves y cols. (1985) (**tabla 2**), empleando cicloergometría y test del cajón, objetiva una mejoría en 90 hombres y 113 mujeres en torno al 10 %¹³⁵.

En el Ejército de Tierra de Austria, Cooper y cols. (1971) y también Baumgartl y cols. (1988) describen datos semejantes^{142y143}.

En un estudio clásico de Patton y colaboradores (1980), se demuestra que el entrenamiento efectuado durante el período de instrucción básico de 7 semanas del Ejército de Tierra norteamericano, es especialmente efectivo para los hombres y mujeres respectivamente, que parten con potencias aeróbicas bajas (por debajo de 49 - 52 ml.kg⁻¹.min⁻¹ y 38 - 41 ml.kg⁻¹.min⁻¹)¹⁴⁴.

En un estudio longitudinal de 2 años de duración, realizado sobre cadetes de la Academia Militar de West Point, Daniels y colaboradores (1982) consideran que las diferencias entre hombres y mujeres se mantienen aún después de períodos de entrenamiento comunes prolongados¹⁴⁵. Estudios semejantes de este investigador y otros ofrecen resultados semejantes ^{28,104,144y145}.

Vogel y cols. (1977, 1978, y 1979) encuentran datos semejantes ^{140,145y146}.

En el Ejército del Aire de Polonia, Drabik (1989) evaluó un grupo de aviadores, en los cuales se objetivaban los efectos beneficiosos de la actividad física militar, y la disminución de los factores de riesgo cardiovascular con respecto a la población general¹⁴⁷.

Sharp (1991) se plantea la problemática que se produce al ser necesario evaluar el estado físico del personal militar, y más concretamente el del Ejército del Aire norteamericano, con el riesgo que conlleva la realización de las pruebas físicas de evaluación. Concibe un sencillo cuestionario empleado para diferenciar distintos grupos de riesgo, y efectuar las pruebas con garantías, así como estudiar el riesgo real de sufrir enfermedades cardiovasculares¹⁴⁸.

Williford y cols. (1994), también en oficiales de 40 años del Ejército del Aire de EEUU, determinaron VO_{2max} , obteniendo unas cifras medias de $47,9 \text{ ml}\cdot\text{l}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ al estudiarlos con tapiz, y 40 en cicloergómetro¹⁴⁹.

Lee Chin y cols. (1996) no consiguió resultados satisfactorios, ya que pretendía que los resultados que un grupo de reclutas daban en un cicloergómetro, por otro lado sorprendentemente bajas (en torno a $30 \text{ ml}\cdot\text{l}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$), sirviesen para predecir quiénes serían capaces de realizar el Período de Instrucción Básico con éxito¹⁵⁰.

1.4.1.6. Entrenamiento de la condición aeróbica

Los elementos que han de ser tenidos en cuenta, relacionados con la potencia aeróbica, y que parecen influir en $VO_{2 \text{ máx.}}$ son: el tipo de actividad, la frecuencia, la intensidad, y la duración¹⁵¹.

Con respecto al tipo de actividad, parecen ser más adecuadas la actividades físicas de intensidad moderada, que emplean continuamente grupos musculares grandes, que sirven para estimular convenientemente la actividad cardiocirculatoria y respiratoria. Actividades tales como la carrera, la natación, la comba, la subida de escaleras, o el remo, entre las muchas otras que puedan ser practicadas en cada Unidad militar.

La frecuencia con la que se practique el ejercicio determinará la extensión del

incremento de la potencia aeróbica. Cuando la actividad es de 2 días a la semana o menos, parece que no modifica significativamente el VO_{2max} ¹⁵², mientras que 3 sesiones parece que sí son útiles para ello, siendo entre 3 y 5 sesiones a la semana la cifra que recomienda el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM)²⁰⁵. La mejoría del VO_{2max} tiende a reducirse, proporcionalmente, cuando se realiza más de 5 veces por semana^{152y153}. A pesar de que no existen muchos datos en la literatura de entrenamientos militares superiores a 5 días por semana, parece que no hay una diferencia sustancial respecto del número de lesiones cuando el número de días entrenados es mayor de 3 por semana, cuando la duración de cada uno de ellos está en torno a los 30 minutos¹⁵⁴.

La intensidad a la que se ejecuta el ejercicio repercute decisivamente en las modificaciones fisiológicas del sujeto. La intensidad umbral para mejorar VO_{2max} se encuentra en torno al 60 % de la frecuencia cardíaca máxima de reserva (MHRR)¹⁵⁵. Por tanto es muy importante conocer la potencia aeróbica inicial, antes de definir la intensidad a la que se va a entrenar. El ACSM recomienda una intensidad de ejercicio entre el 60 y el 90 % del MHRR, o entre el 50 y el 85 % del VO_{2max} ²⁰⁵.

La duración del entrenamiento es otro aspecto relevante a tener en cuenta. Debe haber una relación entre la duración de un ejercicio y la intensidad a la que es realizado: por tanto las actividades que se ejecutan a alta intensidad sólo pueden realizarse durante un relativamente corto espacio de tiempo, y viceversa¹⁵⁶. Por consiguiente, considerando una carga de entrenamiento a una intensidad suficiente,

la cantidad total de ejercicio realizada es lo que definirá la mejoría experimentada^{156y157}. El ACSM recomienda que las sesiones de actividad aeróbica continua duren entre 15 y 60 minutos²⁰⁵.

1.4.1.7. Estudios experimentales sobre entrenamiento militar aeróbico

Es bien conocido que los programas de entrenamiento durante el Período de Instrucción Básico militar no siempre son efectivos para mejorar el VO_{2max} . Según destacan Wenger y cols (1984) En la mayor parte de los estudios realizados sobre este tema la mejora aeróbica es menor del 10 %, a pesar de que pueden llevar a conseguirse mejorías de hasta el 40 %, con 10 semanas de entrenamiento aeróbico¹⁵⁸.

Por otro lado siempre es importante recordar que los entrenamientos militares tradicionales producen un nivel de lesiones por accidentes considerable. De esto podemos citar datos correspondientes a las Fuerzas Armadas (FFAA) de los Estados Unidos (1979, 1980, 1986, y 1988)^{65,159-161}, Noruega (1989)¹⁶², Portugal (1991)¹⁶³, y Holanda (1986 y 1991)¹³¹. Por consiguiente se hace indispensable buscar métodos de instrucción física que optimicen el rendimiento, y minimicen las lesiones accidentales propias del entrenamiento.

Rudzki y cols. (1989) evaluaron¹⁶⁴ un programa experimental de marcha (tabla 3), para compararlo con el entrenamiento habitual, estudiando la mejoría aeróbica de las tropas de Australia. Para ello se estudió a 46 soldados del Ejército de Tierra, a lo

largo del período de instrucción básica de 11 semanas de duración. Se realizó cicloergometría submáxima para estimar el VO_{2max} . A uno de los grupos se le asignó el entrenamiento especial, y el otro actuaba como grupo control, efectuando la instrucción básica tradicional. En el grupo experimental no se programó carrera, excepto aquellas que eran propias de la ejecutadas durante el entrenamiento en circuito, o los ejercicios de instrucción de combate. En las primeras 6 semanas se estableció un ritmo de marcha en torno a los 5 kilómetros por hora (kph), llevando su equipo reglamentario de 16 a 21 Kg a todas partes, después de las cuales, la instrucción volvía a ser la habitual. En el grupo control, cuya instrucción incluía carrera, la mejoría del VO_{2max} inicial, en torno a $54,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ mejoró un 8 % tras las primeras 6 semanas de instrucción, y un 12 % al acabar las primeras 11 semanas. En el grupo experimental, que introducía el ejercicio de marcha referido, la mejora del VO_{2max} en las primeras semanas fue menor: en torno al 3 %. Esto provocó cierto malestar entre sus mandos, que consideraban que no trabajaban suficientemente duro. Por tanto, a partir de la sexta semana, se les incrementó el ritmo de marcha estableciéndola en 7,5 kph. Como consecuencia de ello, el VO_{2max} experimentó una mejoría adicional del 5 %, en las últimas 4 semanas. Es destacable que ambos grupos sufrieron un índice lesional semejante. Por tanto, este estudio revela que el entrenamiento de marcha puede ser un método de instrucción muy efectivo, siempre que el ritmo de ésta sea superior a 5 kph. No obstante, en lo concerniente a la instrucción de reclutas parece más efectivo el empleo de carrera de fondo, al menos

en lo concerniente a la optimización del VO_{2max} .

En otro estudio de Hollman y cols. (1967)¹⁶⁴ se evaluó el resultado de distintos métodos de entrenamiento aeróbico con 90 reclutas alemanes (**tabla 3**): carrera de resistencia (3,5 a 7 Km, en 20 ó 40 min); carrera interválica (7 a 15 x 200 m, 33 - 36 s de descanso, 5 veces a la semana); entrenamiento en circuito de 10 ejercicios. El entrenamiento en circuito era diario, con un incremento durante cada una de las 4 semanas de duración. La intensidad aplicada a todos los grupos de entrenamiento iba dirigida a obtener una frecuencia cardíaca entre 160 y 180 latidos por minuto (lpm). El VO_{2max} se medía directamente mediante cicloergometría máxima. Se observó un aumento del VO_{2max} significativo en los cuatro grupos, entre 9 y 16 %. El entrenamiento interválico era el más efectivo para la elevación del VO_{2max} (16 %), mientras que la carrera continua lo mejoraba en un 15 %, y el entrenamiento en circuito conseguía un 13 %. El grupo entrenado con los métodos tradicionales era menos útil en este aspecto (9 %). Los valores más altos con respecto a la fuerza muscular se obtenían tras el entrenamiento en circuito (12 %), comparado con el 3 % obtenido con el entrenamiento tradicional, el 4 % que ofrecía el interválico, y el 1 % de la carrera continua. Según estos resultados podemos concluir que el entrenamiento interválico y la carrera continua son dos métodos útiles para mejorar el VO_{2max} , pero cuando el objetivo perseguido es tanto la mejora de la potencia aeróbica, como la fuerza, y resistencia muscular, el entrenamiento en circuito es el más adecuado.

En la Armada de los Estados Unidos¹⁶⁵, Marcinik (1987) evaluó a 57 marineros

PAÍS (Refer.)	Número de sujetos	Tipo Instr. Semanas	Variable Estudiada	Valor inicial	Mejoría (en %)
Australia ₁₆₄	46 ♂	Básico (11sem)	VO _{2max} * (Cicloergometría submáxima)	55	8 (6 sem.) 12 (11sem.)
		Marcha(11sem)		51	3 (6 sem.) 8 (11sem.)
Alemania ₁₆₄	90 ♂	Básico(4sem)	VO _{2max} * (Cicloergometría máxima) ***	3,3	9
		Intervál.(4sem)		3,3	16
		Carrera** (4s)		3,3	15
		Circuito(4sem)		3,3	13
EEUU ₁₆₅	57 ♂	Bás. + Int.	kp	?	15
		Bás + Car** (8sem.)	(Cicloerg. máx.)	?	13
EEUU ₁₆₆	224 ♂	Básico	kp	1.573	3
		Aumentado (8sem.)	(Cicloerg. máx.)	1.573	13
Suecia ₁₆₇	37 ♂	Básico(5sem)	VO _{2max} * (Cicloergometría submáxima)	46	8
		Bás. + Int1		46	8
		Bás. + Int2		43	20

Tabla 3: Efectos de distintos tipos de instrucción militar sobre VO_{2max}

* ml·kg⁻¹·min⁻¹ ** Carrera de fondo *** l·min⁻¹

varones durante un período de instrucción básico de 8 semanas (**tabla 3**), y a los que se les asignaron, al azar, carrera continua, o entrenamiento interválico, en combinación con entrenamiento en circuito (CWT). Todos los sujetos completaban 3 CWT, y 3 sesiones de carrera por semana, efectuándolo en días alternos. El entrenamiento de carrera continua comenzó con 2,4 Km, llegando hasta 3,6 Km, realizados a un ritmo de 5 minutos por kilómetro. Los entrenados mediante el sistema interválico pasaron de 6 x 400 m., a 9 x 400 m, a un ritmo de 4,4 min por Km (13,64 Kph), con 15 s de recuperación entre carreras. Se realizó prueba máxima en cicloergómetro. Los resultados indican que se apreciaba una mejoría del 13 al 15 % debido al entrenamiento, sin obtener diferencias significativas entre ambos grupos de carrera.

En un estudio anterior (1984), este mismo grupo₁₆₆ había analizado el efecto del entrenamiento en 224 marineros de los Estados Unidos (**tabla 3**). El entrenamiento habitual consistía en 32 sesiones de 40 minutos de duración cada una de ellas, a lo largo de 8 semanas. Cada una de estas sesiones constaba de 10 minutos de estiramientos y ejercicios calisténicos, seguidos de carrera continua. La carrera se iba incrementando de manera progresiva entre 1,25 a 2,25 millas (2 - 3,6 Km) a un ritmo de 8 minutos por milla (12 kph). Este entrenamiento experimental era más intenso, y más orientado hacia la potencia aeróbica. Las sesiones de entrenamiento se programaron dos veces al día, 6 días en semana. Las carreras de 3,5 millas (5,6 Km) se llevaban a cabo a un ritmo de 8 minutos por milla (12 kph). Los resultados ofrecían

una mejoría sustancial en el máximo trabajo físico alcanzado en cicloergómetro (14 %), frente al método habitual (3 %). De esto podemos deducir la utilidad de este tipo de programas para mejorar la faceta aeróbica del combatiente.

En Suecia, Knuttgen y cols. estudiaron (1973) un grupo de 37 reclutas¹⁶⁷ (**tabla 3**) a los que se les aplicaron diferentes métodos de entrenamiento de intervalos durante 2 meses: Uno de ellos hacía ejercicio 15 s, y reposo 15 s, durante 15 minutos, 3 veces por semana. El segundo hacía 3 minutos de entrenamiento y 3 minutos de descanso, durante 15 minutos 3 veces por semana. El tercer grupo realizaba el entrenamiento tradicional el primer mes, y durante el segundo hacían 3 minutos de ejercicio y 3 minutos de descanso, 5 veces por semana. El VO_{2max} calculado al comenzar estaba en torno a $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en los 3 grupos. Tras 1 mes de entrenamiento se observó que el segundo grupo tenían la mayor elevación del VO_{2max} (20 %). Al final del servicio militar (10 meses) el VO_{2max} de todos los grupos se asemejaba al de ingreso (anterior al período de instrucción básico). Este efecto de pérdida de entrenamiento lo describen otros autores como Vogel y cols. (1986)¹⁶⁸ en soldados norteamericanos, o Egger y cols. (1985)¹⁶⁴ en el Ejército holandés, estudiando en suboficiales.

Se discute a menudo que la actividad militar cotidiana no suele ser suficiente para mantener el estado físico óptimo que es necesario en combate, por lo que la mayor parte de los investigadores recomiendan aplicar planes de entrenamiento físico complementarios en muchas ocasiones, fundamentalmente cuando busquemos un

grado de condición física especial. Son muy variadas las enseñanzas que se pudieron obtener de los estudios de Knuttgen (1973)¹⁶⁷. Siguiendo sus razonamientos parece mantener que sería posible mejorar sustancialmente el VO_{2max} . (20 %) en el primer mes de instrucción, con sólo 3 sesiones de entrenamiento interválico de 30 minutos (tiempo real de ejercicio: 15 minutos). Una pauta de entrenamiento basada en 3 minutos de ejercicio y 3 minutos de descanso es más efectiva que períodos de ejercicio de 15 segundos. No obstante esta mejoría sustancial se pierde con cierta facilidad en poco tiempo, al cesar el entrenamiento.

Por consiguiente la mejoría de la potencia aeróbica producida por el entrenamiento aeróbico es muy variable (0 - 17%). El factor más importante para este elemento es el nivel inicial de los sujetos. Las mujeres se benefician del entrenamiento mixto con hombres, objetivándose mejorías de entre el 7 y el 10 % en el VO_{2max} .

Otra conclusión que parece estar en la mente de todos es que se hace imprescindible una evaluación del nivel de actitud física antes de comenzar la instrucción¹⁴⁹.

Según lo analizado hasta ahora, parece muy frecuente que los programas de entrenamiento que se aplican en la instrucción básica del combatiente estén más bien basados en la costumbre que en conceptos fisiológicos con base científica. Para esto se hace imprescindible conocer de una manera adecuada las características de nuestros soldados, y aplicar los métodos más útiles, algunos de ellos muy recientes, que nos permitan optimizar el entrenamiento.

La carrera continua y el entrenamiento interválico son dos buenos métodos para mejorar la potencia aeróbica. A pesar de lo sorprendente que pueda parecer, se ha llegado a describir que en uno o dos meses se pueden obtener grandes beneficios invirtiendo solamente 3 sesiones semanales de 30 minutos de duración cada una de ellas.

El entrenamiento en circuito parece ser el método de elección cuando lo que perseguimos es mejorar tanto el área aeróbica como la fuerza muscular y el tiempo que disponemos para entrenar es limitado.

1.4.2. Fuerza muscular

1.4.2.1. Aspectos generales

El músculo esquelético se encuentra constituido por varios tipos de fibras que, en función de sus características metabólicas y funcionales, pueden ser clasificadas con respecto a las diferencias en la velocidad de contracción, la capacidad aeróbica, la capacidad anaeróbica, el número de mitocondrias, el número de capilares, la fuerza de contracción, la actividad ATPasa, y la resistencia a la fatiga^{79,83y84}.

Según estas características, y apoyándonos en la diferenciación histoquímica de la ATPasa miofibrilar, se pueden definir dos grupos generales de fibras en el músculo esquelético humano:

- a. Las fibras **oxidativas**, o **tipo I**
- b. Las fibras **glucolíticas**, o **tipo II**

El porcentaje de fibras musculares oxidativas y glucolíticas en el ser humano está determinado de forma genética, y determina el rendimiento físico en actividades de resistencia o de potencia de un músculo o grupo muscular.

1.4.2.2. Concepto de fuerza muscular

La fuerza es una cualidad ligada al proceso fisiológico de la contracción muscular^{79,83y84}. La fuerza es la tensión que un músculo puede oponer a una resistencia en un sólo esfuerzo máximo.

Se puede definir la fuerza estática, como aquella que genera tensión sin desplazamiento, y fuerza dinámica como la que genera tensión con desplazamiento, ya sea alargamiento o acortamiento del músculo en actividad. Podríamos considerar:

- a. **Fuerza estática máxima:** Es la mayor fuerza que el sistema neuromuscular puede ejercer voluntariamente contra una resistencia imposible de vencer.
- b. **Fuerza dinámica máxima:** Es la fuerza que el sistema neuromuscular puede realizar voluntariamente durante un movimiento.
- c. **Fuerza explosiva:** Es la capacidad de un músculo o grupo muscular de acelerar una determinada masa hasta alcanzar la velocidad máxima en un tiempo muy breve.
- d. **Fuerza-resistencia:** Es la resistencia del músculo o grupo muscular frente a la fatiga, durante una contracción muscular repetida, o sea, la duración de la fuerza a largo plazo.

No hay que olvidar en el estudio de la fuerza muscular que ésta es una cualidad

física extremadamente compleja, que integra componentes neurales, energéticos, bioquímicos, de coordinación intra e intermuscular, elementos físicos, técnica de movimiento, etc.

Cuando hablamos de fuerza, con frecuencia nos referimos a términos como potencia, momento, trabajo, etc., y debemos tener claro el significado preciso de cada uno de esos términos.

- a. **Momento** de una fuerza que produce un movimiento rotacional de un cuerpo respecto a un eje, es el producto vectorial del vector fuerza, por el vector de posición del punto de aplicación de la misma respecto al eje de giro. Es decir, es un nuevo vector que se encuentra en un plano perpendicular al que forma la fuerza y su distancia al eje, y cuyo valor numérico (módulo) viene dado por el producto de la fuerza por la distancia, por el seno del ángulo que forman.
- b. **Trabajo** es otro concepto físico y consiste en una medida de energía, que resulta del producto escalar de la fuerza aplicada sobre un móvil, por el desplazamiento del mismo que se produce, por la acción de dicha fuerza.
- c. **Potencia** es el trabajo efectuado por una fuerza en una unidad de tiempo. Expresándolo de otra manera, la potencia también es el producto de la fuerza por la velocidad.

- d. **Elasticidad o fuerza elástica** se refiere a la capacidad de un cuerpo de recuperar su forma original una vez que ha sido sometido a una deformación. Esta propiedad es inherente a los músculos y tejidos que los rodean. Parte de la fuerza desarrollada por un músculo corresponde a su componente elástico, ya que en su longitud de reposo el elemento elástico tiene un cierto grado de tensión, y ésta es la razón por la cual al romperse un tendón el músculo se "encoge" hacia su longitud de equilibrio. El componente elástico puede incluso actuar como "acumulador" de fuerza al ser estirado por músculos antagonistas o por fuerzas externas, siendo luego capaz de "devolver" esta energía al volver a su posición original, por tanto se incrementa la fuerza que se desarrolla al realizar un movimiento. Hay que resaltar que la elasticidad, además de aumentar la fuerza, es fundamental para garantizar un movimiento fino y continuo, al mismo tiempo que es capaz de absorber la energía de traumatismos directos e indirectos, y así prevenir la aparición de lesiones.

Como expresábamos con anterioridad, hay que tener siempre presente que en el desarrollo de la fuerza intervienen innumerables factores que condicionan la propia capacidad de desarrollar fuerza. Entre esos factores debemos recordar que siempre que se produzca una contracción muscular y se genera fuerza, ésta estará

condicionada por la acción conjunta de varios músculos, unos agonistas y otros antagonistas, de su correcta coordinación depende el máximo aprovechamiento de la energía en la dirección deseada. En el desarrollo de la fuerza también interviene un factor biomecánico, de manera que la disposición espacial del músculo o las inserciones de los tendones, entre otros factores, condicionan en gran medida el desarrollo de la fuerza muscular. Por último, recordar que alrededor del elemento contráctil del músculo se encuentran otras estructuras (fundamentalmente hueso y tejido conectivo) que también van a tener, como ya hemos comentado con anterioridad, una gran importancia en el desarrollo de la fuerza.

Según una clasificación en función de que se produzca o no un desplazamiento distinguimos:

- a. **Contracción isométrica:** Es aquella en la que no se produce desplazamiento, por lo que toda la energía producirá una deformación. Es decir: no hay trabajo mecánico.
- b. **Contracción anisométrica:** Existe un desplazamiento, y en función del sentido de desplazamiento hablaremos de:
 - b1. **Contracción concéntrica,** cuando el sentido del desplazamiento es el mismo que el de la fuerza muscular, es decir, es el músculo el que produce el movimiento. Se realiza un trabajo positivo.
 - b2. **Contracción excéntrica,** el movimiento se produce en sentido contrario a la contracción muscular; existe una fuerza externa

mayor opuesta a la desarrollada por el músculo y éste actúa frenando parcialmente el movimiento. En consecuencia el trabajo realizado es negativo.

Por otra parte y en función del desarrollo del movimiento hablaremos de:

- b3. Contracción isotónica**, cuando ésta se lleva a cabo a una tensión constante. En realidad siendo puristas, esto sólo ocurre en preparaciones "in vitro". Pero vulgarmente se aplica este término cuando la resistencia externa es constante, lo cual se consigue con máquinas de resistencia variable, pero se generaliza a todo el trabajo con pesas. Debe recalcarse que en el movimiento muscular normal en el ser humano no existen las contracciones musculares en las que la fuerza se mantenga igual durante todo un movimiento, ya que la tensión generada en el músculo se modificará según cambien los brazos de palanca a lo largo del arco del movimiento. Quizá por ello, algunos autores no recomiendan la utilización de esta terminología, pudiendo ser sustituida por contracción dinámica.
- b4. Contracción isocinética**, es aquella que se realiza a una

velocidad constante. Esta velocidad constante es la velocidad angular o de giro. Este tipo de contracción se lleva a cabo con aparatos que ofrecen una resistencia adaptada a la fuerza aplicada para mantener la velocidad siempre constante en un valor previamente fijado.

Otros factores también pueden influir en las características de la contracción muscular. Así, en general a mayor longitud del músculo, éste se contraerá más rápido ya que el músculo más largo poseerá mayor número de sarcómeros, y por tanto alcanzará un mayor acortamiento por unidad de tiempo.

Por otra parte, como ya comentamos, la máxima tensión desarrollada por un músculo está en relación directa con su superficie transversal (área de sección), en lo cual también influye la disposición de las fibras dentro del músculo, ya que mayor superficie significa mayor número de puentes actuando en paralelo y por tanto sumando sus efectos.

Asímismo, dependiendo del tipo de fibra muscular y de la respuesta neural, variará la velocidad de contracción y la tensión desarrollada. De nuevo volvemos a recordar aquí cómo la ejecución de un movimiento depende no sólo de la contracción de los músculos agonistas, sino también de la relajación de los antagonistas.

Hay que tener en cuenta que el aumento de la fuerza que se produce derivado del entrenamiento no siempre es sinónimo de hipertrofia, pues el aumento de fuerza,

sobre todo el observado al comienzo de un programa de entrenamiento, se ha relacionado con un aumento de actividad eléctrica del músculo (reflejo del impulso neural), que indica un mayor reclutamiento y una mejor sincronización de las fibras.

Además se sabe que el entrenamiento puede modificar el grado de fuerza muscular desarrollada a través de cambios en la activación de los distintos elementos motrices, con lo que se logra una contracción óptima de los músculos agonistas junto a una relajación sincronizada de los músculos antagonistas.

Por tanto los cambios iniciales en el entrenamiento de fuerza pueden justificarse en gran medida por factores de origen neural, con una contribución gradualmente creciente a medida que avanza el tiempo de entrenamiento de los factores tróficos (hipertrofia).

Otro aspecto importante a resaltar en referencia al entrenamiento de la fuerza es la especificidad del tipo de entrenamiento. Así, en el entrenamiento de potencia, en el que los músculos se activan por un tiempo corto pero de forma muy intensa, el aumento de la actividad neural máxima de los músculos entrenados es específico para este tipo de trabajo explosivo.

También se sabe que la hipertrofia del músculo esquelético inducida por el entrenamiento tiene lugar en ambos tipos de fibras musculares, aunque puede ser mayor en las de contracción rápida. De cualquier manera, parece que el entrenamiento de fuerza llega a provocar en última instancia un aumento de la masa muscular que

se puede apreciar de forma macroscópica; esta hipertrofia es atribuible a uno o varios de los siguientes cambios:

- a. **Aumento** de número y tamaño de las **miofibrillas** por cada fibra muscular.
- b. **Aumento** de la cantidad total de **proteínas contráctiles**, particularmente de los filamentos de miosina.
- c. **Aumento** de la densidad **capilar** por cada fibra.
- d. **Aumento** cuantitativo y de la resistencia de los **tejidos conectivo, tendinoso y ligamentoso**.

No se sabe con certeza absoluta si es posible que el número de células musculares aumente con el entrenamiento (hiperplasia muscular). Algunas investigaciones apuntan hacia excisiones longitudinales de fibras musculares ya existentes, o incluso el desarrollo de nuevas fibras musculares a partir de células satélite; pero hay que tener presente que estos estudios se han desarrollado en animales, y por tanto la transferencia a seres humanos debe hacerse con prudencia.

No parecen existir cambios en la distribución de los diferentes tipos de fibras musculares, aunque persisten las dudas acerca de la influencia del entrenamiento precoz en etapas tempranas de la vida o incluso la influencia de las cargas de entrenamiento muy intensas a lo largo de la vida.

Por otra parte, dentro de las adaptaciones neuromusculares al entrenamiento de fuerza hemos de resaltar las diferencias en la respuesta entre sujetos entrenados y desentrenados. En los no entrenados, el entrenamiento de fuerza provoca mayores incrementos relativos o porcentuales de fuerza que en los sujetos entrenados. Además estos incrementos aparecen en las primeras semanas de entrenamiento debido principalmente a las adaptaciones neurales que acontecen, que quedan reflejadas como un aumento de actividad en el electromiograma (EMG), siendo los mecanismos implicados un aumento del número de unidades motoras activas, un aumento de la frecuencia de estimulación o un cambio en el patrón de reclutamiento de las unidades motoras. Hay que resaltar que a partir de las 6-8 semanas de entrenamiento es la hipertrofia muscular la principal responsable de la mejora de la fuerza muscular. Hay una serie de mecanismos intrínsecos que condicionan estas modificaciones. Se piensa que la adaptación neural estaría en relación con un aumento de la excitación de las motoneuronas. Por otra parte, no se conocen en este momento con exactitud los mecanismos que condicionan la hipertrofia muscular que ocurre como consecuencia de un entrenamiento de fuerza.

En cuanto a las adaptaciones hormonales, sabemos cómo las respuestas del sistema endocrino en las personas que realizan entrenamiento de fuerza, dependen de la intensidad y la duración del ejercicio. En principio, el entrenamiento de fuerza produce elevaciones de testosterona y GH (hormonas anabólicas). Pero también hay

una respuesta del cortisol (que podríamos considerar catabólica). Se ha estudiado la relación entre ambos factores y los cambios que se producen en la relación testosterona/cortisol se correlacionan en cada individuo con los cambios que aparecen en su fuerza máxima isométrica. Así, podemos valorar el índice testosterona/cortisol como un parámetro biológico que nos informa acerca de la asimilación del entrenamiento de fuerza, y un índice de sobreentrenamiento. Se ha comprobado que durante fases de entrenamiento demasiado intenso, puede incluso aparecer una disminución del índice testosterona/cortisol.

En cuanto a las diferencias de las adaptaciones neuromusculares en los distintos tipos de entrenamiento podemos resaltar que el grado de hipertrofia/hiperplasia que aparece con un entrenamiento de potencia es menor que con un entrenamiento de fuerza máxima, dado que el tiempo de activación muscular durante estos entrenamientos es demasiado corto como para inducir grandes aumentos de la masa muscular. A nivel de la adaptación neural, los grandes incrementos en la activación neural, aparecen en las 12 primeras semanas de entrenamiento y se producen con una "puesta en marcha" más rápida de la unidades motoras que han de ser reclutadas para una tarea determinada.

1.4.2.3. Respuesta al entrenamiento de fuerza muscular

1.4.2.3.1 Efectos sobre la masa muscular: Hipertrofia

El resultado más evidente del entrenamiento de la fuerza muscular es la hipertrofia del músculo esquelético¹⁶⁹. Éste es el resultado de un aumento del tamaño de las fibras individualizadas, como se puede observar en el **cuadro 3**. Esto último está basado en un aumento de las miofibrillas como consecuencia del aumento de las proteínas miofibrilares. También se ha encontrado un aumento del número de miofibrillas, como índice de hiperplasia en animales. Se considera que la respuesta miógena del entrenamiento de fuerza involucra la síntesis de nuevas proteínas contráctiles.

Los levantadores de peso disponen de fibras rápidas (tipo II), que son el doble de anchas que las lentas (tipo I) del mismo músculo¹²⁰. El efecto fundamental del entrenamiento de fuerza hace que estas fibras rápidas crezcan un 90 %, a pesar de mantenerse la composición de las fibras musculares en el rango normal¹⁷⁰. Sin embargo no podríamos excluir un aumento moderado de las fibras lentas para contribuir a la hipertrofia citada¹⁷¹.

El entrenamiento aeróbico de resistencia, ya descrito, no provoca aumento en el área de las fibras musculares¹⁷². Incluso algún estudio ha descrito un descenso del área de las miofibrillas después de dos meses de entrenamiento. Sin embargo es

posible un aumento moderado y selectivo de las fibras tipo I, y en algún caso de las fibras IIA, con el entrenamiento de resistencia. Con el entrenamiento de resistencia no se han encontrado un aumento de las miofibrillas, siendo el aumento del diámetro de las fibras debido a un aumento del volumen del sarcoplasma¹⁷², y esto es debido sobre todo a un aumento del contenido de glucógeno. Este aumento en el contenido de glucógeno también explicaría el aumento de densidad del citoplasma, como resultado del entrenamiento de fuerza.

El entrenamiento anaeróbico ("de sprint") incrementa el área de sección, tanto en fibras rápidas como en las lentas, siendo este efecto mayor en las fibras rápidas (tipo II). El resultado final consiste en que estas últimas fibras ocupan un mayor área relativa en estos sujetos¹¹⁷. El efecto de este tipo de entrenamiento sobre el tamaño de las fibras es menos pronunciado que el entrenamiento de fuerza pura.

Se ha observado un incremento significativo en la densidad numérica de los núcleos de los miocitos tanto en ratas como en perros¹¹⁷, con el entrenamiento de resistencia.

El entrenamiento de carrera produce mayores áreas de terminaciones nerviosas. La cantidad de terminaciones, así como el área de sección de las fibras nerviosas motoras aumenta como resultado del entrenamiento de velocidad o potencia, pero no como resultado del entrenamiento de resistencia. En este último, incluso se ha descrito una reducción del área de sección de las fibras nerviosas motoras¹¹⁷.

**ENTRENAMIENTO
DE POTENCIA**



Fibras tipo II



- Aumento de proteínas contráctiles
- ⇓
- Aumento del grosor de las miofibrillas
- ⇓
- Aumento del área de sección de las fibras musculares

Fibras tipo I

**HIPERTROFIA
MUSCULAR**



**ENTRENAMIENTO
DE RESISTENCIA**

Cuadro 3: El entrenamiento y la hipertrofia muscular (Según Viru₁₁₇)

1.4.2.3.2. Efectos sobre el mecanismo de la contracción

Existen tres condiciones principales para determinar la efectividad de la *contracción muscular en el entrenamiento*:

- a. El **número total de puentes actina-miosina** formados durante la contracción, que determina la fuerza de contracción.
- b. La **tasa de formación de los puentes** (número de puentes formados por unidad de tiempo), que determina la potencia y la velocidad de contracción.
- c. La **liberación de energía** en la contracción.

El máximo número de puentes formados depende de la cantidad de proteínas contráctiles miofibrilares. Además, los mecanismos de excitación y excitación / acoplamiento influyen decisivamente.

Ambos mecanismos se encuentran íntimamente relacionados con el transporte iónico a través de la membrana plasmática, así como a través del retículo sarcoplásmico. Los iones calcio liberados limitan el número de puentes formados entre actina y miosina, y por tanto la fuerza muscular desarrollada. La potencia depende de la tasa de liberación del calcio por unidad de tiempo. Esta tasa de liberación del calcio también determina la actividad ATP_{asa} de la miosina, y por tanto la liberación de energía durante la contracción.

No hay datos disponibles sobre los efectos del entrenamiento sobre el mecanismo de excitación. Sólo tenemos ciertas especulaciones acerca de las diferencias individuales en la síntesis y liberación de acetilcolina, actividad de la colinesterasa y gradientes iónicos.

Son necesarias unas bombas iónicas altamente efectivas para conseguir un buen rendimiento. En humanos entrenados se han efectuado estudios de biopsias, observándose un incremento de las concentraciones de bombas sodio-potasio en el músculo vasto lateral¹⁷⁴.

Además de esto, se ha sugerido que una mejoría de la concentración de la bomba sodio-potasio podría contribuir a la moderación de la hiperkaliemia producida por el ejercicio, característica de los sujetos entrenados¹¹⁷.

El entrenamiento intensivo incrementa la actividad ATP_{asa} de la miofibrilla en humanos. El mayor incremento se obtuvo por el entrenamiento de fuerza en el músculo glicolítico. En este aspecto el efecto del entrenamiento "de sprint" y el interválico era más acusado que el aeróbico. La electroestimulación de los músculos, semejando entrenamiento de resistencia, produce una reducción en la actividad enzimática.

Así, el entrenamiento puede inducir una diferente adaptación a nivel ATP_{asa} miofibrilar:

- a. **Elevación de la actividad enzimática**, haciendo posible una rápida liberación de energía por la contracción muscular en potencias altas de trabajo. Esta adaptación parece ser característica de los entrenamientos "de sprint" e **interválicos**, así como del entrenamiento de **fuerza**.

- b. **Descenso de la capacidad ATP_{asa} miofibrilar** puede ser considerado esencial para una más económica utilización de las reservas de ATP. Adaptación esta última que viene propiciada por el **ejercicio continuo de intensidad moderada**.

1.4.2.3.3. Efectos sobre las características de la contracción

El entrenamiento de fuerza induce cambios en las curvas fuerza-velocidad de los músculos. Después de ejercicios de mucha carga el incremento de la fuerza máxima era más significativa a velocidades de contracción lentas.

El tiempo necesario para mejorar el 30, 60 ó 90 % del nivel de fuerza es menor en luchadores y fisiculturistas que en levantadores de peso. Esto se justifica por el diferente entrenamiento aplicado: el entrenamiento de los fisiculturistas, y especialmente los luchadores va más encaminado a trabajos submáximos (ejercicio

anaeróbico) realizados a gran velocidad, mientras que el entrenamiento característico de los levantadores implica grandes cargas y velocidades de ejecución lentas¹¹⁷.

1.4.2.3.4. Efecto sobre la mitocondria y las enzimas oxidativas

Lo típico del entrenamiento de resistencia es un mayor número y volumen de mitocondrias observadas, y una mayor actividad de las enzimas oxidativas. Estas modificaciones se relacionan con una mayor capacidad de trabajo y resistencia.

Los resultados del entrenamiento de resistencia son un mayor índice de fosforilización oxidativa, así como un mayor índice de producción de ATP en los músculos esqueléticos.

El entrenamiento para mejorar la fuerza normalmente no produce un cambio significativo en el número de mitocondrias. Tras un programa intenso de entrenamiento de peso se ha encontrado una significativa reducción en la densidad del volumen de mitocondrias y del volumen miofibrilar con respecto a las mitocondrias. Por el incremento en el volumen total del músculo, el volumen absoluto calculado de la mitocondria permaneció constante. La densidad de la mitocondria se reduce también en los músculos de los fisiculturistas y levantadores de potencia.

Existe un incremento lineal en el potencial oxidativo a medida que incrementaba la duración del ejercicio de entrenamiento. Un incremento en la duración del ejercicio produce una mayor respuesta adaptativa.

Sin embargo, algunos estudios indican que no se excluye una ligera adaptación de las enzimas mitocondriales tras el entrenamiento de carreras de velocidad. La posibilidad de un efecto positivo del entrenamiento de carreras de velocidad parece estar relacionado con el carácter intermitente de los ejercicios de carreras de velocidad, cuando un período corto de actividad con una gran potencia desarrollada va seguido de mayor período de recuperación prolongado para la recuperación de los niveles de la concentración muscular del fosfato de gran energía, suministrado desde la energía de oxidación.

Cuando el entrenamiento de fuerza isométrica se realiza de forma intermitente, produce también un ligero aumento de las enzimas mitocondriales. Sin embargo, el efecto del entrenamiento de carreras de velocidad sobre las enzimas mitocondriales está lejos de ser el del entrenamiento de resistencia.

La comparación con los resultados obtenidos del entrenamiento basado en la natación continua y prolongada, demostró que el efecto de la natación intensa sobre las enzimas oxidativas fue dos o tres veces menor que el efecto de la natación continua.

Mientras que como consecuencia del entrenamiento de resistencia aeróbico se

incrementa la actividad de las enzimas oxidativas y se reduce la actividad de las enzimas por los procesos anaeróbicos, con el entrenamiento interválico anaeróbico se incrementa la actividad de las enzimas que catalizan ambos procesos.¹¹⁷

Las adaptaciones del nivel mitocondrial son bastante normales para el entrenamiento basado en un período largo de ejercicios de actividad muscular continua o interrumpida. Los más efectivos parecen ser los ejercicios aeróbicos continuos cercanos al umbral anaeróbico. La actividad muscular interrumpida se convierte en una herramienta efectiva para la mejora de las mitocondrias cuando se precisa una alta intensidad de oxidación durante los intervalos de descanso entre los períodos de actividad. Éste es el caso del entrenamiento interválico. En el entrenamiento de fuerza o de carreras de velocidad se precisan períodos de descanso prolongados para garantizar unas condiciones óptimas para la alta potencia o fuerza desarrollada durante la siguiente repetición de ejercicios. Normalmente, sólo se necesita una parte de estos períodos de descanso prolongado para los procesos de recuperación que exigen un alto índice de oxidación. Resulta razonable sugerir que las adaptaciones mitocondriales dependen:

- a. del **tiempo total** durante el cual persiste el alto nivel de oxidación en los músculos esqueléticos, incluyendo el tiempo para la actividad contráctil, así como el tiempo para la restitución basada en el alto índice de oxidación;
- b. del **índice de oxidación** durante estos períodos (cuanto más próximo

se esté del índice máximo de oxidación, más efectivo es el entrenamiento).

Como resultado del entrenamiento en resistencia, el músculo activo comienza a producir menos lactato a pesar del mismo índice de glucogenólisis. Al menos en parte está relacionado con la mayor capacidad de oxidación. Además, se ha de tener en cuenta que el entrenamiento en resistencia propicia la eliminación de lactato en sangre en lugar de su producción.

1.4.2.4. Respuesta al entrenamiento militar de fuerza

Como ya habíamos apuntado, el entrenamiento de fuerza produce dos efectos fundamentales: el incremento de la fuerza ejercida por el músculo, y el aumento del tamaño del tejido del músculo esquelético^{144,175-178}.

Mediante estudios comparativos entre ejercicios de fuerza isométricos y dinámicos se ha demostrado que la mejoría de fuerza aparece primordialmente en aquellas áreas afectadas especialmente por el movimiento entrenado^{179, 180, 181}. Se demostró que la mejora de fuerza en ejercicios isométricos correspondía primordialmente al ángulo del movimiento ejecutado.

Como ya hemos expresado con anterioridad es necesario una buena forma física para cumplir adecuadamente las tareas propias de la actividad militar. Además

del entrenamiento aeróbico, es preciso tener en cuenta la gran importancia que la fuerza física, y el entrenamiento anaeróbico tienen en numerosos ejercicios como son el municionamiento, el traslado de armas de cierto peso en cortas distancias,...

Del mismo modo, los ejercicios tácticos simulados, o los realizados en el teatro de operaciones, las marchas con cargas superiores a los 60 Kg, las ayudas prestadas a compañeros heridos, cavar agujeros de tirador, alimentar piezas de artillería, etcétera. requieren una instrucción adecuada en este terreno.

Se calcula que la fuerza muscular constituye el elemento fundamental de la actividad física militar en la tercera parte de los ejercicios que comúnmente se realizan en combate, según lo revela un estudio realizado en el Ejército de Tierra de los Estados Unidos (1986)⁸².

El nivel de fuerza muscular tiene un enorme interés en la evolución de las lesiones producidas durante el entrenamiento, así como en la prevención de las mismas. Fleck y cols.(1986) comprobaron¹⁸² que cuanto más entrenados estén los músculos menor probabilidad lesional existe.

Este aspecto, según sostienen entre otros, Rutherford y cols. (1988) tiene así mismo una trascendencia indudable en la rehabilitación de lesiones¹⁸³.

Según hemos comentado con anterioridad, está ampliamente aceptado que los factores que influyen directamente en el desarrollo de la fuerza muscular son el tamaño del músculo que está contrayéndose y el grado de estímulo procedente del

sistema nervioso central.

Además de la importancia que tiene la aplicación de fuerzas concatenadas, las modificaciones más importantes son aquellas que se producen en el vientre muscular que está siendo activado por el sistema nervioso central durante el proceso del entrenamiento. En definitiva, se considera que al menos en la primera etapa, las modificaciones más importantes se deben, esencialmente a las adaptaciones producidas en el sistema nervioso^{184 y 185}.

Como ya habíamos apuntado, parece que existen factores neurales responsables del incremento de la frecuencia, de la sincronización del estímulo de la unidad motora¹⁸⁶, del reclutamiento¹⁸⁷, y del desarrollo del reflejo protector de inhibición reflejo¹⁸⁸.

Estas adaptaciones consiguen una mejor coordinación intra e intermuscular, que aumenta la producción de fuerza máxima. Se ha comprobado que se puede conseguir mejora en la fuerza sin aumentar el tamaño muscular, pero nunca cuando no se presentan adaptaciones neurológicas¹⁸⁹.

Se han observado diferencias interindividuales sustanciales, tanto en la biomecánica muscular como en la masa muscular, entre sujetos no entrenados, lo que hace suponer que existe una gran influencia del factor genético en este aspecto. La distribución relativa de los diversos tipos de fibras, parece estar sometido a factores genéticos. Se ha comprobado en biopsias musculares que es idéntica en gemelos

unicigóticos, aunque diferente en los dicigóticos. Como las fibras tipo II son más fácilmente entrenables en ejercicios de fuerza, implica que la capacidad de entrenar fuerza viene influido por la herencia.

Häkkinen y cols. (1987) demostraron¹⁹⁰ que los sujetos previamente no entrenados que empezaban a entrenar en fuerza, mejoraban cerca del doble en la mitad de tiempo, cuando se les comparaba con sujetos previamente entrenados. El entrenamiento debe ser progresivo y realizado en función de las mejorías que vayan experimentando los soldados durante el entrenamiento.

Existen ciertos estudios de relevancia, sobre estos temas, realizados en las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos (1977, 1978, y 1980)^{3, 108 y 144,}

En un estudio longitudinal de 2 años de duración, realizado sobre cadetes de la Academia Militar de West Point, Daniels y cols. (1982) consideran que las diferencias entre hombres y mujeres se mantienen aún después de períodos de entrenamiento comunes prolongados ^{145.}

La fuerza muscular comienza a decrecer a partir de los 30 años, pero con gran variación entre sujetos de la misma edad. La causa más importante es la pérdida de masa muscular. A los 65 años se cuenta con el 80 al 90 % de la fuerza de los 25 años, del 70 al 80 % en la mujer.

1.4.2.5. Entrenamiento de la fuerza muscular

Cuando se lleva a cabo un programa de entrenamiento diseñado para mejorar la fuerza muscular, se deben tener en cuenta ciertas variables como son los ejercicios concretos que van a ejecutarse, el orden de los ejercicios, la resistencia a aplicar, la duración de los períodos de recuperación entre ejercicios, el número de repeticiones por ejercicio, y la frecuencia de las sesiones de entrenamiento.

La respuesta al entrenamiento sólo se observa en aquellos músculos que son entrenados específicamente¹⁹¹. Al realizar un ejercicio de entrenamiento, ligeras modificaciones en el ángulo de ejecución alteran sensiblemente los cambios fisiológicos del músculo¹⁹². Por consiguiente para mejorar un músculo o grupo muscular es preciso tener un conocimiento muy preciso de la biomecánica del gesto a entrenar. Es tan importante el conocimiento preciso del movimiento en cuestión, como la velocidad a la que el movimiento ha de ser realizado, el tipo de contracción, la masa del arma u objeto que pudiese ser manipulado durante el ejercicio, y el tiempo de recuperación del que se vaya a disponer durante la acción. Seremos capaces de optimizar el entrenamiento específico en la medida que podamos introducir estas variables.

Si bien el orden de ejecución de los ejercicios puede ser alterado en algunas ocasiones, como regla general se acepta el empleo de los grandes grupos musculares en primer lugar, dejando para después el entrenamiento de los músculos más

pequeños¹⁹³. La razón de esto consiste en que si hemos fatigado en primer lugar un músculo, que posteriormente ha de intervenir en un ejercicio más amplio, en conjunción con otros, aparecerá un déficit notable en la ejecución del movimiento más amplio.

La resistencia a aplicar en el entrenamiento, que suele expresarse o bien como las máximas repeticiones posibles (RM), o bien como la máxima masa que se es capaz de movilizar en un ejercicio y que es incapaz de realizar correctamente por segunda vez (1-RM), o bien como un porcentaje de 1-RM. Se ha demostrado que el empleo de grandes cargas y pocas repeticiones se mejora la fuerza absoluta, mientras que el uso de cargas relativamente pequeñas con muchas repeticiones mejora primordialmente la resistencia muscular^{191, 193, 194, y 195}.

Los ejercicios de alta intensidad estimulan el sistema energético anaeróbico. Como resultado de esto tanto los fosfágenos almacenados (ATP), como la fosfocreatina, junto con el metabolismo anaeróbico glicolítico les corresponden aportar energía en forma de ATP al músculo en actividad. Los niveles de lactato producidos por el metabolismo anaeróbico llegan a cifras de 13 milimoles por litro ($\text{mM}\cdot\text{l}^{-1}$), empleando resistencias moderadas (entre el 40 y el 60 %) en circuito de entrenamiento¹⁹⁶, y pueden sobrepasar los 23 $\text{mM}\cdot\text{l}^{-1}$ en culturistas que trabajan a intensidades del 70 al 80 % del 1-RM, con periodos cortos de descanso de entre 10 y 60 segundos. Se sabe que los fosfágenos precisan entre 2 y 3 minutos para estar completamente restaurados. El lactato sanguíneo por su parte necesita entre 1 y 2

horas para retornar a los niveles de reposo, dependiendo de que la recuperación sea activa o pasiva. No obstante, en términos generales los períodos de descanso entre series deben ser entre 30 segundos y 2 minutos. En el caso de los culturistas suelen utilizarse períodos cortos de recuperación, ya que el objetivo primordial se centra en conseguir una buena definición y tamaño muscular. Sin embargo esto no es recomendable cuando lo que pretendemos es mejorar la fuerza, ya que los niveles tan altos de lactato en sangre y en músculo pueden ir en detrimento de la mejora perseguida al alterar la producción de ATP, y la unión del ión calcio con la troponina. De hecho los levantadores olímpicos, que necesitan mejorar especialmente la carga máxima a levantar en una vez, utilizan períodos de descanso de entre 3 a 5 minutos entre series, dependiendo del peso que vayan a levantar.¹⁹³

Aunque se sabe que realizando más de una serie por entrenamiento la mejoría es mayor^{191, 194, y 195}, en el caso de los principiantes es preferible ejecutar una sola serie por ejercicio. Cuando el progreso se enlentece se recomienda aumentar alguna repetición en el ejercicio que progrese con mas lentitud. Suelen utilizarse de 3 a 6 repeticiones para obtener la máxima mejora en sujetos entrenados.^{193 y 194}

La mayor parte de los investigadores consideran que un músculo o grupo muscular ha de ser entrenado un mínimo de 3 veces por semana, para conseguir un rendimiento adecuado. Aunque se considera que 48 horas son suficientes para recuperar, especialmente para los principiantes¹⁹¹, hemos de tener en cuenta que cada individuo tiene su propio ritmo de recuperación. Generalmente a medida que el sujeto

va entrenando más se puede ir reduciendo los períodos de recuperación¹⁹³.

El entrenamiento dirigido hacia el desarrollo de fuerza muscular, y el dirigido al entrenamiento aeróbico, emplean métodos distintos, en particular si se realizan de manera muy específica. El dirigido a la fuerza utiliza resistencias máximas, o próximas al máximo, con un muy reducido número de repeticiones, mientras que el segundo realiza ejercicios prolongados de relativamente poca carga y muchas repeticiones. Debido a estas diferencias en el tipo de entrenamiento podrían afectar negativamente al resultado final del mismo, cuando se aplican sobre los mismos músculos. Del mismo modo, los citados músculos podrían beneficiarse de ambos efectos. Los estudios que se han realizado sobre este tema ofrecen conclusiones contradictorias.

Algunos trabajos sobre entrenamientos concurrentes de medio a alto nivel con sujetos previamente desentrenados muestran que aparecía un menor crecimiento de la fuerza, que cuando se trabajaba ésta de forma independiente. No obstante esta combinación no afectaba a la mejora en $VO_{2\text{ max}}$ ¹⁹⁷⁻¹⁹⁹.

En sujetos ya entrenados, la incorporación del entrenamiento de fuerza complementario no parece afectar a la ganancia de fuerza como en el caso anterior¹⁹⁹. Otro grupo de sujetos entrenados aeróbicamente, la adición de trabajo de fuerza no sólo no perjudicaba lo anterior sino que contribuía en mejorar mas aún el $VO_{2\text{ max}}$ ¹⁹⁸.

Como resumen, podemos destacar que cuando el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia aeróbica produce efectos negativos, suele deberse a diversos aspectos como son el nivel de entrenamiento inicial, el tipo de ejercicios realizados,

la intensidad del entrenamiento, la cantidad de trabajo realizado, la frecuencia del entrenamiento, y la manera en que los dos tipos de entrenamiento se combinan⁹⁵.

El nivel inicial, es decir el grado de entrenamiento de fuerza antes de comenzar la instrucción, así como las aptitudes genéticas, influyen decisivamente en la respuesta al entrenamiento de la fuerza muscular, lo que dificulta sustancialmente precisar la respuesta individual al entrenamiento militar.

Generalmente, durante el adiestramiento militar se emplean métodos isocinéticos, isométricos, y de trabajo en circuito^{200 - 202}. El incremento medio logrado en los miembros superiores e inferiores suele oscilar entre el 20 y el 50 %.

Fleck y Kraemer (1987)¹⁹³ encontraron mejorías entre el 15 y el 30 % en la fuerza isométrica máxima entre las 4 y las 7 semanas de entrenamiento isométrico; entre el 8 y el 44 % en fuerza dinámica en "press" de banca entre 9 y 24 semanas de entrenamiento; y entre el 7 y el 42 % en la fuerza dinámica de piernas tras 8 a 24 semanas.

McDonaugh y cols (1984)²⁰³ llegaron a la conclusión de que el método más efectivo para mejorar la fuerza isométrica máxima, es el que emplea la máxima contracción, ampliando progresivamente el tiempo de contracción, y el número de repeticiones diarios. Tal método producía una mejoría de fuerza isométrica en torno al 1 % diario. Llegaron a describir incrementos en la fuerza isométrica máxima entre el 28 y el 92 %, conseguidos entre el 28 y el 100 % de los días de entrenamiento..

Para mejorar la fuerza dinámica se emplean grandes cargas de trabajo con

pocas repeticiones. Suelen obtenerse mejorías entre el 0,1 y el 3 % diarias. En estos casos la fuerza isométrica máxima mejora mucho menos, lo que indica la especificidad del entrenamiento.

Kraemer y cols (1988)²⁰⁴ en una revisión encontraron incrementos en la fuerza muscular en "press" de banca entre el 26 y el 38 %. En la mayor parte de los casos se destacaba que el régimen óptimo de entrenamiento se encontraba entre 2 y 10 repeticiones diarias (RM), cuando se quería obtener fuerza dinámica máxima. A partir de 20 RM la mejoría comienza a disminuir. Cuando el conseguir incremento de la fuerza muscular tiene una importancia especial se recomienda no superar mas de 10 RM.

El ACSM²⁰⁵ sugiere un mínimo de 8 a 10 ejercicios, que impliquen al mayor número posible de músculos, al menos 2 veces por semana. Debería completarse al menos un ciclo completo de 8 a 12 repeticiones de cada ejercicio, que produzca fatiga.

1.4.2.6. Estudios experimentales sobre entrenamiento militar de fuerza muscular

Comparado con el gran interés que despierta el desarrollo de la capacidad y la potencia aeróbica, así como la instrucción militar específica, el entrenamiento de fuerza, y el anaeróbico en general no han gozado de tanto predicamento, y consecuentemente ha sido menos estudiado.

Es frecuente encontrar en la literatura numerosas reflexiones dirigidas hacia algunas deficiencias que se observan frecuentemente entre los soldados con respecto a la fuerza muscular en distintos ejercicios militares.

Estas deficiencias aparecidas tanto en prácticas de instrucción de orden cerrado, como en otras actividades de instrucción de combate; así como en ciertas manipulaciones con armamento u otros útiles de campaña, hacen pensar en que quizá ha sido un aspecto no suficientemente desarrollado en los estudios científicos sobre entrenamiento militar.

Las investigaciones precedentes sugieren que los ejercicios calisténicos tradicionales no son suficientemente útiles (1972 y 1983)^{166y206}. Pueden mejorar ligeramente la fuerza muscular en las primeras semanas, pero debido a la baja intensidad que se suele aplicar, la mejoría suele ser mínima.

Para evaluar los ejercicios calisténicos, Marcinik dirigió un estudio (1984)¹⁶⁶ (tabla 4) para medir las modificaciones habidas en un grupo de reclutas de la Armada de los Estados Unidos. Este entrenamiento consistía en 32 sesiones de 40 minutos durante las 8 semanas del Período de Instrucción Básico. Cada una de estas sesiones consistía en 10 minutos de flexibilidad, y ejercicios calisténicos seguidos de carrera, que se dilataba progresivamente entre 2 y 4 Km, realizados a un ritmo de 12 Kph. Este entrenamiento tradicional no mejoraba los resultados de los miembros superiores ni del tronco, lo que indicaba que estos ejercicios calisténicos no son suficientemente efectivos. El entrenamiento en circuito parece ser mas útil para este tipo de actividades, ya que permite evaluar el nivel de fuerza del individuo de manera específica, y por partes, de tal manera que el entrenamiento pueda adaptarse a las necesidades de cada uno.

El mismo grupo (1984) contrastó dos tipos de entrenamiento²⁰⁷: el ya relatado, y que es el más frecuentemente aplicado en las unidades militares, en el cual se combinan los ejercicios calisténicos con el entrenamiento aeróbico (CA); con el entrenamiento en circuito (CWA), en 87 marineros. En el entrenamiento tradicional había sesiones de 40 minutos durante las 8 semanas del Período de Instrucción Básico, a razón de 3 sesiones por semana. Cada una de estas sesiones consistía en 10 minutos de flexibilidad, y ejercicios calisténicos seguidos de carrera, que se dilataba progresivamente entre 2 y 4 Km, realizados a un ritmo de 12 Kph en la última semana.

PAÍS (Refer.)	Número de Sujetos	Tipo de Instrucción	Tiempo (sem.)	Variable Estudiada	Mejoría (en %)
EEUU ₁₆₆	244♂	Básico / Calistén.	8	Estático: * Cintura escapular * Tronco Dinámico * Cintura escapular	-14 a +25 -6 a +25 -25 a -9
EEUU ₂₀₇	87♂	Bás./Aerób. /Calistén.	8	Dinámico: * Cintura escapular * Cintura pelviana	-1 a -13 -18 a +13
		Bás./Aerób. /CWT 70%		Dinámico: * Cintura escapular * Cintura pelviana	+8 a +18 +5 a +30
Alemania 164	45♂	Básico	4	Estático: * Miembros sup. * Miembros infer. * Espalda	0 0 +9
		Básico / Circuito		* Miembros sup. * Miembros infer. * Espalda	+17 +9 +11
Finlandia 129	75♂	Básico	19	Estático: * Miembros sup. * Miembros infer. * Tronco	+2 +11 +3

Tabla 4: Efecto de la Instrucción Militar Básica sobre la Fuerza Muscular

De nuevo Marcinik y cols. (1985), también en la Armada de los Estados Unidos, establece ciertas diferencias entre diferentes técnicas de entrenamiento, con respecto a la condición aeróbica, pero no con respecto a la fuerza muscular²⁰⁸.

Hollman y cols. (1967)¹⁶⁴ (**tabla 4**) obtuvo resultados parecidos con reclutas de Alemania en fases de instrucción de 4 semanas.

Viitasalo y cols. (1982)¹²⁹ (**tabla 4**) estudiaron los efectos de 5 semanas de instrucción básica en 75 reclutas de Finlandia, donde un grupo de ellos realizaba el entrenamiento habitual y otro se les entrenaba con un circuito adicional. Sólo los soldados con muy bajo nivel de fuerza mejoraron sensiblemente. Esto corrobora la importancia del grado inicial de entrenamiento, respecto de los resultado definitivos.

De todos estos estudios se desprende que los ejercicios calisténicos no mejoran suficientemente la fuerza muscular, debido a que se ejecuta por debajo de la intensidad que se considera necesaria, esto es por debajo del 70 % de la fuerza máxima. Sólo aquellos soldados con valores de fuerza inferiores a la media, y especialmente durante el entrenamiento en circuito, podrían conseguir resultados aceptables. Por tanto, el entrenamiento en circuito, si la carga se incrementa progresivamente, parece ser un método de suficiente utilidad para la instrucción militar.

Song y cols. (1989), estudiando una Unidad de Infantería en Canadá, llama la atención sobre la pobre condición física entre el personal militar por él evaluado²⁰⁹.

También sobre soldados de Infantería, Knapik y cols. (1990)²⁵ descubren una sensible disminución de la condición anaeróbica, y de la fuerza en extremidades

superiores, que consideran de gran importancia con respecto al rendimiento de las tropas. Este autor insiste, al igual que otros, en la gran importancia que la fuerza de los miembros superiores tiene en las actividades militares en campaña.

May y cols. (1992)²¹⁰ desarrolló un sistema específico de entrenamiento de fuerza dirigido al personal militar destinado en Unidades Acorazadas.

1.4.2.7. Rendimiento combinado entre la condición aeróbica y la fuerza muscular en la instrucción militar

Hemos de tener presente que el objetivo principal del militar no consiste en la cantidad de fuerza muscular o capacidad aeróbica de las que pueda disponer, sino más bien la aplicación de esas mejoras en el desempeño de las tareas militares específicas, tales como cavar, caminar con grandes cargas, manejar armamento y ciertos materiales, etcétera.

Es preciso conocer las características propias del ejercicio que vamos a desarrollar, y por consiguiente determinar el tipo de entrenamiento más adecuado a las misiones que van a tener que cumplir el personal que estamos entrenando.

Con respecto al **entrenamiento en fuerza**:

- a. **Tipo de fuerza**: isométrica o dinámica.
- b. **Velocidad de la fuerza**: rápida o lenta.

- c. **Necesidad** de la fuerza en un determinado ejercicio militar.
- d. Tipo de entrenamiento anaeróbico o de fuerza muscular más **efectivo**.

Con respecto al **entrenamiento aeróbico**:

- a.. **Relación** entre el **umbral anaeróbico**, la **potencia aeróbica**, y el **rendimiento militar**.
- b. **Magnitud del entrenamiento aeróbico** que es necesario para la ejecución de las **misiones militares**.

Basados en los conocimientos actuales, los especialistas en el entrenamiento físico pueden ofrecer al Mando responsable de la instrucción de las tropas consejos sumamente útiles para la planificación y ejecución de los planes de entrenamiento dirigidos a la optimización de los diferentes componentes de la condición física.

Sin embargo la investigación aplicada a estos temas de optimización del entrenamiento ha sido tradicionalmente deficitaria. En principio consideraríamos que una mejoría en la condición física debería reflejarse automáticamente en un mayor rendimiento en el cumplimiento de las misiones militares.

Mientras que ha sido sobradamente demostrado que el entrenamiento mejora la fuerza muscular y la condición aeróbica, la extrapolación de que esta mejoría influya decisivamente en el rendimiento militar no se ha probado suficientemente²¹¹. Hay muy

pocos estudios científicos publicados al respecto.

Marcinik y cols. (1987)¹⁶⁵ evaluaron el efecto del entrenamiento en circuito, comparándolo con el entrenamiento de carrera, en la mejoría de la ejecución de tareas militares en un buque de la Armada de los Estados Unidos. Las tareas militares que se seleccionaron fueron el arrastre de maniqués, abrir y asegurar una puerta hermética al agua, y acarrear un bote de pintura. Observaron que mientras que el entrenamiento mejoraba sustancialmente la fuerza y la condición física en general, no se apreciaban mejorías significativas en la ejecución de las tareas cotidianas a bordo. Hay muy pocos estudios que versen sobre este aspecto. Concluían señalando que no se trataba de un ejercicio suficientemente específico como para mejorar el rendimiento de trabajo.

Knapik y cols. (1990)²¹² evaluaron la efectividad de diferentes programas de entrenamiento para mejorar el rendimiento de la marcha con carga en carretera. Un programa de entrenamiento físico de 9 semanas de duración, que se establecía sobre 4 grupos de estudio, proporcionaba una serie de ejercicios semejantes (carrera, entrenamiento de fuerza, y entrenamiento interválico), y la única diferencia era el volumen de entrenamiento de marcha con carga en carretera. Si bien todos los soldados mejoraron sensiblemente su condición física, únicamente aquellos que hacían marchas al menos dos veces por mes, mejoraban su rendimiento hasta realizar 20 km con 46 kg de carga.

Kraemer y cols. (1987)²¹³ evaluaron el efecto del entrenamiento de fuerza y el

entrenamiento aeróbico sobre un ejercicio de 3,2 km llevando 45 kg de carga. Los soldados fueron distribuidos al azar dándoseles a unos un entrenamiento intensivo en fuerza, otros un entrenamiento aeróbico intensivo, y al tercer grupo un entrenamiento mixto. El entrenamiento se hacía 4 veces por semana, a lo largo de 12 semanas. Las marchas con carga no formaban parte de entrenamiento. Los resultados demostraron que era necesaria la combinación de trabajo aeróbico con trabajo de fuerza muscular para mejorar el rendimiento, que lo hacía en un 13 %, para el tipo de ejercicio descrito. La fuerza muscular del tren superior parecía tener una mayor importancia en la influencia sobre el rendimiento general.

Sharp y cols. (1989)²¹⁴ inciden en algo semejante. Estudian el efecto de un entrenamiento progresivo de fuerza sobre la capacidad de levantar pesos de manera repetida. La tarea consistía en levantar una caja de 41 kg hasta un estante a la altura de pecho el mayor número posible de veces en 10 minutos. El entrenamiento de fuerza se realizaba 3 veces a la semana a lo largo de 12 semanas e incluía tanto ejercicio de fuerza sin resistencia, como trabajo con máquinas de gimnasio. El grupo entrenado mejoraba notablemente su rendimiento, consiguiendo pasar de 79 a 92 veces (12 %), mientras que no se apreciaron diferencias significativas en el grupo control. Los autores insisten en que los programas progresivos de entrenamiento en fuerza son especialmente útiles cuando se busca una mejoría inespecífica, si bien es preciso concretar más el programa cuando buscamos un entrenamiento selectivo de una determinada actividad.

Estos estudios indican que ambos elementos: tanto el entrenamiento general básico, como el entrenamiento específico han de formar parte de la instrucción militar, pero es preciso realizar investigaciones más amplias a fin de perfilar la combinación óptima de estos elementos.

Los estudios que se están desarrollando en los proyectos de investigación coordinados por la OTAN van encaminados a este propósito.

Para conseguir este objetivo han de tenerse en cuenta los siguientes elementos:

- a. Identificación de los **ejercicios físicos** concretos que pueden influir de manera más notable en el éxito o fracaso de un **objetivo militar** concreto. Ejemplos de éstos suficientemente conocidos serían la marcha con carga, el cavar, el traslado de objetos pesados, la elevación repetida de carga, etc.
- b. Identificación de los **elementos de la condición física** que se relacionan con el **rendimiento en las tareas militares**, y la relación entre esa condición física y la aplicación a la misión concreta.
- c. Diseño de una **batería de test** adecuada **para cuantificar** estos elementos de la condición física y de la capacidad de ejecución de los cometidos militares, y poderlos comparar, para evaluar las modificaciones inducidas por la instrucción.
- d. Evaluación de los distintas **técnicas de entrenamiento** para mejorar la

condición física y el rendimiento militar, ya que al haber grandes diferencias entre las actividades militares según el soldado en cuestión, tendremos que ir elaborando un entrenamiento cada vez mas específico.

También tiene un gran interés la cuantificación de la influencia de las condiciones medioambientales en las que tiene lugar la misión (calor, frío, altitud, etc.); el tipo de uniformidad utilizada; el uso de equipos especiales de protección; y una serie de elementos característicos de la propia actividad militar como son la falta de sueño, los grandes desplazamientos, el mantenimiento de una posición a lo largo de mucho tiempo, los problemas de alimentación, etc. Estas condiciones adversas indudablemente afectan a los niveles de rendimiento físico, y se hace indispensable tenerlas en cuenta al definir las características de la instrucción militar con respecto a las misiones que van a serles encomendadas.

El reto más importante consiste en conseguir unos planes de instrucción física que permitan optimizar el rendimiento en las tareas concretas, y con las condiciones hostiles propias de la actividad militar.

1.4.3. Condición anaeróbica

1.4.3.1. Concepto de condición anaeróbica

La condición anaeróbica, o resistencia muscular puede definirse como la capacidad de un músculo o un conjunto de músculos esqueléticos para llevar a cabo múltiples contracciones submáximas durante espacios de tiempo relativamente pequeños. Cuando lo comparamos con la fuerza muscular, puede parecernos como algo contrapuesto a esto, si bien ya veremos que existe un límite impreciso entre un concepto y otro.

Como consecuencia del entrenamiento específico, que requiere una influencia decisiva del metabolismo anaeróbico, se producen una serie de modificaciones en los sistemas energéticos inmediatos y los de corto plazo, sin tener que modificarse necesariamente los patrones propios de la condición aeróbica⁸³.

Concretamente, las modificaciones más importantes que acontecen con el entrenamiento anaeróbico son:

- a. **Incremento en los niveles de sustratos anaeróbicos en reposo.** Se ha comprobado mediante el estudio de biopsias musculares antes y después de la sesión de entrenamiento. Se considera que en torno al 28

% de la mejora en fuerza se acompaña de un incremento significativo en los niveles de reposo de adenosíntrifosfato (ATP), creatínfosfato (CP), creatina libre, y glucógeno.

- b. **Incremento de la actividad, y la cantidad de las enzimas responsables del control de la fase anaeróbica del metabolismo de la glucosa.** Estas modificaciones no presentan la magnitud observada en las enzimas oxidativas durante el entrenamiento aeróbico. Las modificaciones enzimáticas más importantes, y el incremento del grosor de las fibras se da especialmente en la fibra muscular de contracción rápida (tipo II).

- c. **Incremento de la capacidad para tolerar niveles elevados de lactato sanguíneo durante ejercicios máximos.** Se debe probablemente a la elevación de los niveles de enzimas glicolíticas, y de glucógeno, así como el aumento de la motivación psicológica, así como de la tolerancia al sufrimiento en el ejercicio extenuante. También se han descrito mejoras de este tipo asociadas a otras adaptaciones metabólicas.

Los estudios experimentales demuestran que puede aparecer una modificación de la proporción de fibras tipo II como respuesta al entrenamiento de resistencia¹⁹⁸.

Dicho de otra manera podríamos afirmar que como consecuencia del entrenamiento muscular de resistencia las fibras adaptadas al metabolismo anaeróbico irían sustituyendo a otras con características mas aeróbicas. Aunque en algún estudio parece demostrarse el incremento de un tipo sobre otro^{95y 215}, la conversión de fibras I en II o viceversa producido por este tipo de entrenamiento no ha sido completamente garantizado.

El entrenamiento de la condición anaeróbica no se asocia necesariamente con hipertrofia muscular¹⁶⁴.

1.4.3.2. Respuesta al entrenamiento de la condición anaeróbica

La capacidad de trabajo anaeróbico es la habilidad para desarrollar ejercicios muy intensos utilizando procesos anaeróbicos para la resíntesis del ATP. La capacidad de trabajo anaeróbico implica la máxima potencia desarrollada posible durante un tiempo determinado, y el predominio de producción anaeróbica de energía (resíntesis de ATP).

El factor tiempo diferencia la aplicación de la capacidad de trabajo anaeróbico en tres propósitos:

- a. lograr la energía de la **máxima potencia** desarrollada durante ejercicios de **hasta 10 - 20 s** de duración;
- b. lograr la energía de la **potencia submáxima** desarrollada durante

- ejercicios que duren **más de 20 - 30 s y menos de 5 min;**
- c. y lograr la energía de una **gran potencia** desarrollada durante ejercicios que duren de **5 a 30 min.**

El primer objetivo de la capacidad de trabajo anaeróbico corresponde a los ejercicios que incluyan carreras de velocidad, o actividades semejantes. En este caso, la capacidad de trabajo anaeróbico puede entenderse como la capacidad de los corredores de velocidad. La resíntesis de ATP debe estar en el índice más alto. Esto se logra mediante la degradación de la fosfocreatina.

Por la cantidad limitada de fosfocreatina en los músculos, el mecanismo de fosfocreatina de resíntesis del ATP debe completarse mediante la glucogenólisis anaeróbica. Por consiguiente, la base bioquímica para el rendimiento de velocidad consiste en el almacenamiento de fosfocreatina y la actividad de la creatínquinasa.

Los animales adaptados a rápidas carreras cortas de velocidad poseen una gran actividad de creatínquinasa. Es más importante utilizar el más alto índice de resíntesis de ATP para permitir las contracciones asegurando el alto nivel de potencia necesaria.

De acuerdo con esto, son muy significativos los mecanismos de excitación-contracción, las funciones de las membranas incluyendo las posibilidades de la bomba Na, K, la función del retículo sarcoplásmico, el índice de formación de puentes cruzados, y el índice de hidrólisis de ATP. Por supuesto, la condición previa

fundamental para todos ellos es un alto porcentaje de fibras tipo II₁₁₇.

El segundo objetivo de la capacidad de trabajo anaeróbico precisa de la glucólisis y la glucogenólisis anaeróbica. Frecuentemente, el término "capacidad de trabajo anaeróbico" se utiliza en el sentido de realización de la capacidad de trabajo anaeróbico para el desarrollo de ejercicios que utilicen la glucogenólisis de forma predominante.

La diferencia entre el segundo y el tercer propósito consiste sobre todo en el índice entre las contribuciones de la glucogenólisis y la fosforilización oxidativa en la resíntesis de ATP. En los ejercicios que duran entre 30 s y 5 min., predomina la glucólisis anaeróbica, y en los ejercicios de 5 a 30 min la fosforilización oxidativa.

En ambos grupos de ejercicios, la contribución de la glucogenólisis está cuantitativamente relacionada con la acumulación de lactato en sangre y en los músculos que trabajan.

La acumulación de lactato no es una estimación cuantitativa exacta de la contribución de la glucogenólisis anaeróbica para lograr energía de los músculos que se ejercitan, sino al menos de forma semicuantitativa caracteriza bastante la capacidad de trabajo anaeróbico. Por consiguiente, se puede estudiar la naturaleza específica de las acciones del entrenamiento sobre la capacidad de trabajo anaeróbico utilizando la acumulación de lactato durante ejercicios anaeróbicos de corta duración (supramáximos).

Nevill y cols (1989)₂₁₆ encontraron que el entrenamiento en carreras de velocidad de 8 semanas hizo que aumentase la acumulación de lactato en los músculos y la noradrenalina en el plasma sanguíneo durante los ejercicios de prueba en un 110 % del VO_{2max} .

Jacobs y cols (1987)₂₁₇ observaron que el entrenamiento de velocidad en carreras incrementó la respuesta de lactato sanguíneo en el test de Wingate.

Houston y cols (1981)₂₁₈ observaron una mayor respuesta de lactato tras el entrenamiento de velocidad en natación.

En los atletas de élite, se registraron unas concentraciones de lactato de hasta 25 mmol.l⁻¹ en sangre y de 30 - 35 mmol.l⁻¹ en el tejido muscular en la meta de carreras de 400 y 800 m.. Al mismo tiempo, el pH en sangre estaba en 6.9 (en algunos casos 6.8) y 6.4 en el tejido muscular₁₁₇.

Como durante los ejercicios supramáximos se hará uso de las posibilidades de la glucólisis anaeróbica, el entrenamiento deberá incrementar la capacidad tampón de los músculos esqueléticos y de la sangre. De hecho, éste es un resultado típico del entrenamiento interválico anaeróbico y del entrenamiento en carreras de velocidad. La capacidad "buffer" es un factor que contribuye a una mayor capacidad del rendimiento anaeróbico.

Morgan y cols (1969)₁₁₇ detectaron un incremento del contenido de triglicéridos en el músculo cuádriceps tras el entrenamiento en resistencia. Esta modificación no

fue confirmada en un experimento sobre el entrenamiento de una sola pierna. En las ratas, se observó un menor contenido de triglicéridos en las partes blancas y rojas del músculo gastrocnemio tras el entrenamiento.

El músculo esquelético de los humanos, que se adapta a una mayor utilización incrementando el número de capilares, no produce este efecto cuando el entrenamiento es de carácter anaeróbico. Este efecto del entrenamiento en resistencia es evidente con respecto a los incrementos de capilares por fibra, capilares por milímetro cuadrado, o el número de capilares encontrados alrededor de una fibra.

Kuzon y cols (1990)¹¹⁹ encontraron que los jugadores de fútbol, en contraposición con las personas desentrenadas, también poseen una mayor cantidad media de capilares alrededor de cada fibra, si bien su entrenamiento es de carácter mixto: aeróbico-anaeróbico.

El número de capilares por fibra en el músculo entrenado está muy relacionado con el conjunto del consumo máximo de oxígeno de un sujeto.

Los levantadores de peso olímpicos y los levantadores de potencia muestran una densidad capilar más baja que los sujetos no entrenados, mientras que el número de capilares por fibra del músculo vasto lateral era igual en estos deportistas que en los que no eran deportistas. La mayor capilaridad muscular parece ser un fenómeno específico, característico del entrenamiento en resistencia ^{144y220}.

Los ejercicios continuos de intensidad moderada estimulan los incrementos en la densidad de volumen de la mitocondria, actividad de las enzimas oxidativas y

capilarización. Sin embargo, estas alteraciones también aparecen en los ejercicios interrumpidos de bastante intensidad. Por lo tanto, la condición más importante es un período prolongado de un alto índice de oxidación. Esto puede garantizarse con un ejercicio prolongado y continuo, pero también con un ejercicio interrumpido si persiste un alto índice de oxidación durante los períodos de descanso entre etapas de ejercicios.

Se desconoce en la actualidad si existe un límite para la intensidad del ejercicio, teniendo en cuenta la posibilidad de que la acumulación exagerada de lactato y proteínas puede suprimir la oxidación¹¹⁷.

La adaptación al ATPasa miofibrilar significa, en primer lugar, una mayor actividad de la enzima. Es un resultado típico del entrenamiento de fuerza y velocidad. Este cambio es menos pronunciado con el entrenamiento en resistencia. En este caso surge la posibilidad de que se incremente la actividad de las enzimas.

Mientras que la mayor actividad del ATPasa miofibrilar es necesaria para una transferencia mayor y rápida de energía química a energía mecánica, la menor actividad del ATPasa miofibrilar permite economizar la utilización de la energía producida.

Las posibilidades tanto de un rápido secuestro como una rápida reacumulación de iones de calcio son condiciones esenciales para desarrollar ejercicios de potencia o carreras de velocidad. La velocidad de la contracción muscular, así como la necesidad de formar un gran número de puentes cruzados en un período corto de

tiempo tienen que ser los factores que estimulan la mejora de la función del retículo sarcoplásmico. Para este efecto son menos útiles los ejercicios de gran resistencia. Los ejercicios de resistencia pueden incluso mostrar un efecto contrario.

Se ha probado la mejora de las funciones de las bombas Na, K en los músculos entrenados. Sin embargo, es preciso que se estudie de una forma más detallada para concretar en qué medida depende la mejora de las funciones de la bomba Na-K de los ejercicios utilizados.

El estímulo para la adaptación a nivel de las enzimas glicolíticas se logra mediante los ejercicios basados en un alto índice de glucogenolisis anaeróbica. Sin embargo, el período de vida de las enzimas glucolíticas es bastante corto. Por lo tanto, la mayor actividad de estas enzimas, como consecuencia de los ejercicios correspondientes, puede persistir sólo unos días. Recientemente, se indicó la posibilidad de que los ejercicios anaeróbicos podían elevar la susceptibilidad de las enzimas glucolíticas a sus activadores e inhibidores, o producir una síntesis de isoenzimas resistentes al pH bajo. Esta posibilidad necesita ser confirmada y especificada¹¹⁷.

El efecto del entrenamiento en los depósitos de energía intramuscular es el más acusado en relación al contenido de glucógeno. Los ejercicios de resistencia parecen ser más efectivos que los de fuerza o carreras de velocidad. Sin embargo, las diferencias no siempre son convincentes.

Los resultados no son unánimes con respecto al mayor contenido de

fosfocreatina ni de ATP.

Se puede sugerir que los ejercicios de carreras de velocidad tienen que ser los más efectivos con respecto al aumento del depósito de fosfocreatina. Hasta ahora, esto no se ha demostrado de una forma convincente.

Todas estas manifestaciones del entrenamiento dependen del tipo de fibra muscular. Algunas de ellas favorecen a las fibras tipo II y otras a las tipo I. Esta dependencia se basa en las diferencias a la hora de reclutar diversas unidades de motor y por consiguiente a fibras de diferentes tipos. El incremento en la aplicación de fuerza o intensidad hace que sea necesario reclutar más unidades de motor.

En los ejercicios de gran resistencia y de gran intensidad, el reclutamiento de las unidades de motor está cerca del máximo. Por lo tanto, los efectos del entrenamiento de estos ejercicios son menos específicos con respecto a la influencia sobre las fibras musculares de diversos tipos.

1.4.3.3. Estudios experimentales sobre la respuesta al entrenamiento anaeróbico militar

En las Fuerzas Armadas se han realizado estudios de condición anaeróbica, que hemos ido describiendo de manera conjunta con el aspecto de fuerza muscular, no obstante parece digno se resaltar aquí la evaluación que Patton y cols (1987) realizó sobre los diferentes métodos³⁴.

EJERCICIO ANAERÓBICO



↑ SENSIBILIDAD ENZIMAS GLICOLÍTICAS
EQUILIBRA pH (evita ↓ del pH)
↑ GLUCÓGENO MUSCULAR (FIBRAS TIPO II)
↑ CAPACIDAD TAMPÓN



AUMENTA LA CONDICIÓN ANAERÓBICA

Figura 3: Respuesta al entrenamiento de la condición anaeróbica

Se han estudiado los efectos del clima en el rendimiento anaeróbico durante los ejercicios militares^{146, 221, y222}.

Es interesante resaltar el estudio de Knapik y cols (1991) en el cual describe cómo tras un ejercicio aeróbico de gran intensidad, consistente en una marcha forzada, se puede objetivar una sensible reducción en el rendimiento anaeróbico, determinado mediante un ejercicio de lanzamiento de granadas⁴⁰.

1.4.3.4. Entrenamiento de la condición anaeróbica

El entrenamiento de la capacidad anaeróbica tiene que apuntar a dos objetivos fundamentales:

- a. **Incremento de la velocidad máxima de glicolisis**, es decir, de la capacidad de utilizar en un tiempo mínimo la deuda total de oxígeno.
- b. **Mejoría de la tolerancia a la acumulación de lactato.**

No sabemos cómo varían durante un ejercicio extremo los diferentes factores que pueden activar la glicolisis en el músculo.

Fundamentalmente, hay tres elementos que pueden regular la velocidad de la glicolisis:

- a. El contenido de glucógeno.
- b. Las enzimas glicolíticas.

- c. La activación de las enzimas clave reguladoras.

Una dieta apropiada y el entrenamiento influyen sobre el contenido de glucógeno muscular. En los músculos humanos han sido encontradas elevadas concentraciones de enzimas glicolíticas, y una activación incluso parcial de las enzimas, produce un índice muy elevado de glicolisis y de producción de lactato. Un entrenamiento muy intenso a velocidad elevada, parece producir un ulterior aumento de las enzimas glicolíticas. Esto es importante también porque una pequeña modificación de un activador de alguna de las enzimas reguladoras puede determinar un mayor flujo a través de esa vía específica. Además, puede que sea menor la acción de los inhibidores de aquella enzima.

Es posible que con el entrenamiento, la capacidad de soportar un pH ligeramente inferior mejore (a ello podría contribuir una mayor cantidad de enzimas), pero igualmente importante sería el aumento de la capacidad tampón del músculo, y que una fracción más amplia del lactato formado pudiera dejar rápidamente la fibra muscular en la que ha sido producido.

Los modelos óptimos para entrenar estas dos variables pueden ser diferentes.

La velocidad o la intensidad son elementos esenciales para el entrenamiento de la velocidad de la glicolisis. Pero la duración de la carga no puede ser demasiado

breve, puesto que el gasto energético en los primeros 5-10 seg. de ejercicio será cubierto por la reducción de los fosfágenos.

Si bien la glicolisis empieza desde los primeros segundos del ejercicio, su índice máximo no puede ser alcanzado antes de 5-15 seg. de ejercicio. La duración de la carga está limitada por cuánto se mantiene una elevada intensidad de ejercicio.

Los períodos más largos pueden ser de 30 a 40 seg. y se pueden repetir tres o más veces.

Si la recuperación entre cargas de trabajo es larga (5 min.), se puede mantener una velocidad mayor que si el período de recuperación fuese más breve. Es posible elegir ambos métodos mientras la intensidad del trabajo no se reduzca y la duración de cada período de trabajo sea mayor de 15 seg.

Para seguir entrenando con una intensidad elevada, es importante entrenarse para tolerar el lactato. Una vez más, es necesaria una velocidad elevada. La duración podría ser superior a los 45 seg., sin embargo, es importante que cuando exista cierta dificultad para mantener la velocidad, se siga manteniendo la intensidad más alta posible durante otros 5, 10, o 15 seg.

Entre un período de trabajo y otro, la recuperación puede ser larga o breve. En el segundo caso, la duración de la carga será reducida rápidamente, mientras con períodos de recuperación mayores, se puede mantener mejor el tiempo del ejercicio. El número de repeticiones puede ser de 3 o más veces.

Un aspecto común a los dos métodos de este entrenamiento es que la adaptación producida, que es la base de la mejora, es de carácter local; los niveles de las enzimas aumentan sólo en las fibras musculares implicadas en el ejercicio.

Lo mismo ocurre para la capacidad tampón. Por lo tanto, los movimientos utilizados en este entrenamiento deberían ser idénticos o, por lo menos, muy similares a los realizados durante una competición.

En todo entrenamiento anaeróbico es muy importante la recuperación activa, es decir, un ejercicio de baja intensidad que no supere el 60% del máximo consumo de oxígeno.

El lactato es rápidamente evacuado por los músculos fatigados, puesto que la perfusión del músculo es mantenida a un nivel mayor que durante el reposo. Pero la condición es que la intensidad de trabajo del músculo sea lo bastante baja.

1.4.3.5. Estudios experimentales sobre entrenamiento anaeróbico militar

Los ejercicios de despliegues tácticos, y la mayor parte de los ejercicios militares en el campo donde la rapidez de ejecución sea primordial, son realizados mediante el empleo de los fosfatos musculares.

En el capítulo dedicado a la fuerza muscular se describen los estudios experimentales más importantes realizados en militares. No obstante queremos resaltar a continuación una serie de aspectos de interés al respecto.

La capacidad para efectuar₈₃ un ejercicio físico anaeróbico depende fundamentalmente de la capacidad para producir ATP mediante un procedimiento inmediato, o a corto plazo.

El depósito energético puede ser enriquecido mediante el entrenamiento muscular, efectuando contracciones máximas, en ejercicios de corta duración, en torno a 5 o 10 segundos.

Como los fosfatos de alta energía actúan durante un período de tiempo muy breve, se producen cantidades muy reducidas de lactato, y la recuperación generalmente es rápida (metabolismo anaeróbico aláctico). Normalmente se puede comenzar con otro ejercicio tras un descanso de 30 a 60 segundos. Este empleo de

cargas de trabajo máximas en períodos cortos de tiempo, con tiempo de recuperación, propio del entrenamiento en intervalos, resulta sumamente útil.

Durante este tipo del entrenamiento se recomienda que los ejercicios se realicen precisamente por los músculos concretos, y siguiendo el gesto biomecánico que nos interese mejorar, a una velocidad semejante a la que deseemos, ya que además de las mejoras en el metabolismo muscular, se van a producir modificaciones en el reclutamiento neuromuscular que harán mejorar sensiblemente la efectividad del ejercicio.

Cuando la actividad física es superior a 10 segundos, la influencia de los fosfatos musculares se reduce, tomando una importancia mayor la energía anaeróbica procedente del metabolismo glucolítico (metabolismo anaeróbico láctico). Para mejorar la capacidad de utilización del metabolismo anaeróbico dependiente del ácido láctico, se ha de incrementar la actividad física de corta duración.

El entrenamiento anaeróbico de alta intensidad es agotador, requiere una gran capacidad de sufrimiento por el soldado, y por consiguiente una gran voluntad y motivación.

Consiste, en líneas generales, de ejercicios de más de 1 minuto de duración, parando 30 segundos antes de la aparición de sensaciones subjetivas de agotamiento, que se relacionan con la elevación del ácido láctico a niveles semejantes a los obtenidos en ejercicios máximos.

Cada ejercicio se repite tras un período de recuperación entre 3 y 5 minutos. La repetición sucesiva produce un acumulo de lactato tal, que el sujeto consigue niveles superiores a los que aparecen en pruebas máximas cuando se llega a la extenuación.

Del mismo modo que apuntábamos con anterioridad, tiene una gran importancia que el entrenamiento se realice con los grupos musculares específicos que nos interesa desarrollar.

El tiempo de recuperación puede llegar a ser considerable, por lo que se recomienda dejar el entrenamiento de potencia anaeróbica para el final de la sesión de entrenamiento. De otro modo la fatiga podría empeorar el resultado del entrenamiento aeróbico.

El entrenamiento propio de la capacidad anaeróbica ha de tener en cuenta una serie de aspectos de interés distintos a los empleados para el desarrollo de la fuerza muscular. Los elementos más importantes son: el tipo de ejercicios elegidos, la duración de la actividad, la frecuencia de los ejercicios y la intensidad.

La mayor parte de los programas de entrenamiento dirigidos al desarrollo de la resistencia muscular incluyen protocolos con un trabajo entre el 40 y el 70 % del 1-RM. No obstante existen ciertas actividades destinadas al entrenamiento de la fuerza muscular que mejoran la resistencia (grandes cargas y pocas repeticiones).

En general se considera que lo más efectivo para entrenar la fuerza muscular y la resistencia muscular (condición anaeróbica) consistiría en un programa de 3 series

de 8 a 12 repeticiones con una resistencia de entre el 70 y el 90 % del 1-RM, 3 veces en semana¹⁹³.

1.4.4. Flexibilidad

La flexibilidad puede ser definida como la capacidad de movilizar una articulación, o grupo de articulaciones, a lo largo de un complejo de movimientos de máxima amplitud, minimizando las resistencias que se presenten ante la citada movilización producidas por los propios músculos, ligamentos o articulaciones.

Suelen describirse dos conceptos de flexibilidad:

- a. **flexibilidad estática:** el grado de movilidad pasiva.
- b. **flexibilidad dinámica:** el grado de movilidad activa²²⁴.

La flexibilidad dinámica tiene importancia especialmente en la valoración general de la aptitud física. Sin embargo la flexibilidad estática tiene una importancia singular en la prevención de lesiones²²⁴.

La limitación del movimiento difiere según la articulación de la que se trate: por ejemplo en la articulación del hombro o la de rodilla las estructuras óseas son las que limitan el movimiento; en cambio en otras articulaciones como la cadera o el tobillo los límites son mas ligamentosos, musculares, capsulares, etcétera.

Algunos experimentos "in vitro"¹⁶⁴ sugieren que cuando se estira un músculo progresivamente, su resistencia al mismo se debe fundamentalmente a las modificaciones que se producen en tendones y fascias, no las producidas en la estructura contráctil.

En pruebas realizadas sobre animales se ha averiguado que los factores más importantes en la limitación del movimiento articular son las fascias musculares, las cápsulas articulares y los tendones. En ensayos con animales se ha observado también que mediante estiramientos musculares durante el crecimiento puede aumentarse la longitud del músculo al aumentar el número de sarcómeros.

La mejora de la flexibilidad mediante el estiramiento es un procedimiento de enorme importancia⁹⁴. Cuando nos referimos a la flexibilidad hemos de recordar que siempre debe estar referida a la de una articulación en concreto, no al cuerpo como un todo²²⁴. Entonces, si deseamos mejorar la flexibilidad de una articulación determinada tenemos que individualizar el entrenamiento de esa articulación o grupo de articulaciones. Clásicamente se empleaban las técnicas balísticas, mediante movimiento de rebote repetidos.

Otra técnica, conocida como estiramiento estático, consiste en estirar el músculo hasta el grado de molestia, y mantener el estiramiento entre 6 y 60 segundos, lo que permite al órgano de Golgi del tendón responder a la tensión provocada²²⁴. Esto

ocasiona un alargamiento muscular que le permite mantener el estiramiento durante un mayor tiempo, reduciendo el riesgo de lesión^{224y225}.

Últimamente se está aplicando una serie de técnicas de estiramiento conocidas como facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF)¹⁶⁴. Estas técnicas alternan contracciones y estiramientos. Fueron empleadas por primera vez por fisioterapeutas dedicados a la rehabilitación de parálisis neuromusculares. Las técnicas PNF se benefician del fenómeno de la inhibición autógena (la relajación de los músculos antagonistas durante la contracción, debido a la estimulación tendinosa de Golgi), y a la inhibición recíproca que permite al músculo ser estirado en un grado mayor que con los métodos balísticos o estáticos²²⁴. Se manejan diferentes técnicas, que consisten en combinaciones de contracciones y relajaciones de músculos agonistas y antagonistas, generalmente con una fase de 10 segundos de contracción y otra de 10 segundos de relajación. Parece ser que este método es el más útil cuando se aplica con rigor y durante un período de tiempo suficiente.

Los principales tipos de tejidos conjuntivos (ligamentos, tendones, estructuras colágenas musculares, y cartílagos) contienen colágeno, que se encuentra localizado a nivel extracelular, y que constituye entre el 25 y el 30 % de todo el peso protéico del cuerpo. Para analizar los efectos del entrenamiento, debemos tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Influencia del entrenamiento en el **metabolismo del colágeno** y de otras proteínas del tejido conectivo.

- b. Relación de estos efectos con el **entrenamiento específico**.
- c. Influencia de estos aspectos sobre la **fuerza muscular**.

La mayor parte de los estudios realizados sobre animales indican que el entrenamiento de resistencia incrementa la fuerza máxima de los tendones¹¹⁷ y ligamentos, por consiguiente aumenta la carga a la cual se produce la rotura de éstas. Estas modificaciones se acompañaban de un incremento de la masa de los tendones y ligamentos estudiados.

Se observó que la hipofisectomía, la adrenalectomía, y la diabetes excluían el efecto del entrenamiento sobre los tejidos conjuntivos. No así la tiroidectomía, ni la ovariectomía. El tratamiento de las ratas hipofisectomizadas con tirotropina reestablecía los efectos del entrenamiento. El tratamiento de ratas hipofisectomizadas con somatotropina o corticotropina era inefectivo para estos objetivos.

El colágeno puede medirse determinando el contenido de hidroxiprolina. Como era de esperar se demostró que el entrenamiento aumenta la concentración de hidroxiprolina, y la fuerza necesaria para la rotura de los tendones o ligamentos. Sin embargo, existe la posibilidad de que se incremente la resistencia de las fibras sin contar con el aumento de hidroxiprolina. Se cree que esta cierta discrepancia pueda relacionarse con el aumento de la degradación del colágeno, hallado en los tendones de Aquiles de animales entrenados.

El contenido en agua de los ligamentos y los tendones no se modifica con el entrenamiento. En los tendones se incrementa la actividad de las enzimas aeróbicas.

El entrenamiento de velocidad potencia el peso de los ligamentos y el índice peso/longitud. Este mismo efecto aparece tras el entrenamiento de fuerza muscular.

La máxima contracción voluntaria representa aproximadamente el 30 % de la máxima fuerza de tensión de los tendones, lo que supone un gran margen de seguridad.

Los ejercicios encaminados a mejorar la flexibilidad producen estiramientos de ligamentos y tendones.

Se ha demostrado que el estiramiento experimental de un tendón hasta el 108 % de su longitud original produce ya alteraciones en la estructura original. Cuando se le quita la carga, el tendón no se recupera del todo, quedándose en el 104 % de la longitud original. En un segundo intento el tendón fue estirado más aún, sin embargo no se apreciaron cambios en la máxima carga antes de la rotura.

La actividad física regular también incrementa la densidad ósea y su masa. El hueso de la extremidad más entrenada tiene un grosor mayor. Con respecto a las modificaciones producidas en los huesos los elementos más importantes son la intensidad de entrenamiento y la carga soportada. Sin embargo existen diferencias en la estimulación de la densidad ósea y el grado de crecimiento de la longitud. El entrenamiento de baja intensidad puede estimular el crecimiento en longitud del hueso,

así como el grosor en animales en crecimiento. El entrenamiento de alta intensidad inhibe, de forma relativa estos procesos, pero produce un incremento en la densidad ósea. Se observado así mismo que el entrenamiento de baja intensidad no modifica la densidad ósea.

1.4.5. Composición corporal

La composición corporal generalmente se define como la proporción existente en los dos componentes más importantes del cuerpo, esto es: masa magra (músculos, huesos, vísceras, etcétera), y masa grasa. La proporción de la masa grasa viene determinada por factores tales como edad, sexo, herencia, raza, grado de actividad física, y biotipo.

En general las mujeres suelen tener una mayor proporción de grasa que los varones ¹⁴⁴.

Los datos en los que nos solemos basar para cuantificar este elemento son datos obtenidos de las medidas efectuadas a grandes poblaciones a lo largo de mucho tiempo.

Un cierto número de ellos corresponden a poblaciones militares, como así lo atestigüan las publicaciones de Vogel y cols. (1978 y 1979)^{140 y 226}. El contenido graso suele situarse en torno al 15 en el caso de varones jóvenes, que asciende al 25 % si se trata de mujeres²²⁷. Los sujetos que se alejan 1 ó 2 desviaciones estándar de la

media se considera que se encontrarían fuera del rango de salud deseable, incrementando el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes, etcétera²²⁸.

La composición corporal se relaciona directamente con la condición física y con el grado de aptitud física del personal militar, según demuestran Lee y cols. (1994) o Everett y cols. (1987)^{229y230}.

Es por esto por lo que el exceso de peso ha sido una constante entre las preocupaciones del Mando militar en todos los países. Ejemplo de ello es el Plan de Prevención Cardiovascular de las Fuerzas Armadas de España, desarrollado en el Hospital Militar "Generalísimo Franco" de Madrid²⁵⁷, o el Plan de Control de Peso del Ejército de Tierra de los Estados Unidos, publicado por Sweeney y cols. (1990)²³¹.

Freihofer y cols. (1990), en un estudio con soldados del Ejército de Tierra norteamericano, atribuye una importante correlación entre la composición corporal y la condición física, así como con la calidad de salud, sin embargo no obtiene correlación con los trastornos psicossomáticos ni con el grado de motivación personal²³².

Parece evidente que, en general, cuanto menos pese una persona tanto más sencillo resultará su movilidad.

Si lo consideramos exclusivamente en términos de salud, sería aconsejable situarnos entre el 10 y el 20 % para varones, y entre el 20 y el 30 % para hembras. Sin embargo cuando de la condición física se trata los márgenes deseables son más

estrechos^{227y233}: en varones estaría en torno al 12 %, y el 18 % para mujeres. Lógicamente habría una cierta diferencia en función de la actividad física que fuesen a realizar los militares de los que se trate.

Existen estudios clásicos, desde los años cincuenta, como los de Pascale y cols. (1956)²³⁴, que analizan las modificaciones de la composición corporal en soldados.

Conway y cols. (1989), estudiando marineros norteamericanos, define una serie de parámetros antropométricos, que considera muy adecuados para este tipo de evaluaciones, entre militares²³⁵.

Revisiones semejantes ya se habían realizado anteriormente por Wright y colaboradores (1980 y 1981)^{236y237}.

Estudios más recientes de Shake y cols. (1993) introducen las determinaciones más comunes empleadas en la actualidad para la evaluación antropométrica en la Armada norteamericana²³⁸.

Friedl y cols. (1987) sugiere el empleo de la ecuación de Durnin-Womersley, para ser aplicada en los programas de control de peso del Ejército de Tierra norteamericano²³⁹.

Los estudios de Vogel y cols. (1992), los de Slack y cols. (1985), así como Friedl y cols. (1983)²⁴⁰⁻²⁴² obtienen una correlación muy modesta entre la composición corporal y la potencia aeróbica en soldados del Ejército de Tierra de los Estados Unidos²⁴³⁻²⁴⁵.

En Canadá, Jette y cols. (1989) consideran asimismo que apenas hay diferencias sustanciales en las características antropométricas tras el Período de Instrucción Básico de 10 semanas de duración que allí realizan¹⁷⁸. Este mismo autor (1990) ofrece un amplio estudio antropométrico, realizado sobre personal del Ejército canadiense, donde describe las modificaciones que encuentra en la composición corporal, y como éstas van acorde con una mejora de la condición física general²⁴⁶.

También en Canadá, Song y cols. (1989) evaluaron un grupo de infantes, desde el punto de vista antropométrico y de condición física general, observándose diferencias con respecto a una mejor composición corporal, pero no así con respecto a la condición física general²⁰⁹.

Si un sujeto padece sobrepeso es preciso que adelgace, aunque no conviene que lo haga de todos los componentes corporales, sino especialmente a costa del peso graso. Para esto es preciso reducir la cantidad de calorías de la dieta. Lo podemos conseguir mediante diferentes métodos: disminuyendo la ingesta calórica mientras que mantenemos el consumo energético; incrementando el consumo energético mientras mantenemos la dieta; y disminuyendo la cantidad de calorías de la dieta, y aumentando la actividad física.

La primera opción, si bien en algunas ocasiones puede resultar útil, puede en otras asociarse la pérdida grasa una pérdida de masa muscular, y una sensible pérdida de agua, lo que sería desaconsejable.

El modificar sólo la actividad física es un método a veces no todo lo eficaz que sería deseable ya que, por ejemplo, para perder 2,2 Kg. de grasa corporal sería preciso realizar un ejercicio equivalente a 3.500 kilocaloría (Kcal)₂₄₇; y una persona suele consumir unas 100 Kcal trotando o caminando 1,6 Km, sería necesario, teóricamente un paseo de unos 56 Km para perder esos 2,2 Kg de grasa. Si además de esto consideramos que el paseo no sólo se consume grasa, sino que también utilizamos depósitos de hidratos de carbono, el cálculo se nos antoja más complicado.

Por consiguiente, la mayor parte de las personas estudiosas de este tema están de acuerdo al considerar que es preciso utilizar los dos métodos combinado para la obtención del fin previsto. De este modo sería posible reducir el peso de manera conveniente, con la ventaja de mantener la masa muscular, o incluso aumentarla ligeramente. Ya que la grasa sólo puede ser aplicada para la obtención de energía en presencia de oxígeno, son especialmente recomendables los ejercicios de carácter aeróbico para su consecución.

Los programas de entrenamiento físico han de ser realizados al menos 3 veces a la semana, durante un mínimo de 20 minutos de duración, consiguiendo un consumo de unas 300 Kcal por sesión₁₅₄. También podría ser efectivo aplicar 4 sesiones semanales de un mínimo de 200 Kcal por sesión. Si los programas aplicados son menores apenas se consiguen resultados adecuados. Aunque tanto el peso global como el peso graso suelen ir aumentando con la edad, la actividad física regular puede

contribuir a variar esta relación²⁴⁸.

El entrenamiento de resistencia muscular, si bien no consigue metabolizar suficiente grasa, ya que es mayoritariamente anaeróbico, puede mejorar la composición muscular aumentando la proporción relativa de masa muscular.

OBJETIVO

El **objetivo** de esta investigación ha sido valorar las adaptaciones fisiológicas acaecidas en el personal de una Unidad de Élite de las Fuerzas Armadas (FFAA) de España después del Período de Instrucción Básico.

La preparación física es un elemento esencial dentro de la instrucción del personal militar.

La Medicina de la Educación Física y el Deporte cuenta con una serie de procedimientos que permiten conocer de un modo muy preciso la evolución de las modificaciones fisiológicas que produce el entrenamiento.

El Ministerio de Defensa de España, y en su nombre el Consejo Superior de Educación Física y Deporte de las Fuerzas Armadas, interesado especialmente en contar con una instrucción física adecuada, que contribuya a la formación integral del militar, y este caso más en particular de aquellos destinados en Unidades de Élite, a los que van a encomendárseles tareas que suponen actividades en las que se requiere una aptitud física especial, necesita un conocimiento objetivo de las modificaciones fisiológicas que se producen durante la citada instrucción militar.

Sabemos también que los accidentes durante la actividad física se reducen considerablemente a medida que los sujetos están mejor entrenados.

Conocemos, por la documentación publicada, cómo se modifican los parámetros fisiológicos en diversas actividades físicas y deportivas. También disponemos de numerosos estudios efectuados en las Fuerzas Armadas de otros países, tanto aliados como pertenecientes a otros ámbitos geoestratégicos.

Sin embargo no existe ningún estudio científico que evalúe estas modificaciones en nuestras Fuerzas Armadas.

Suponemos que el Período de Instrucción Básico aplicado al personal de reemplazo, considerado como la fase de iniciación del combatiente antes de empezar a desempeñar sus cometidos de una manera efectiva, cumple suficientemente con los mínimos necesarios para ello. No obstante creemos que algunos aspectos de su entrenamiento podrían ser mejorados, y probablemente esto permitiría contar con soldados más capaces.

La tendencia actual hacia la disminución del número de efectivos, y el empleo de material cada vez más sofisticado, hace que sea mas importante la citada preparación física.

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. POBLACIÓN

3.1.1. EL GRUPO DE ESTUDIO

Después de los trámites reglamentarios, la fase experimental duró desde el día 24 de noviembre de 1993 hasta el día 29 de julio de 1994.

Los sujetos sobre los cuales se realizó el estudio, eran personal de tropa destinada en el Grupo de Operaciones Especiales número 1, de la Base de San Pedro, en Colmenar Viejo (Madrid), y se encontraban realizando el Período de Instrucción Básico (PIB). Deseamos señalar que esta Unidad recibe personal cuatro veces a lo largo del año con objeto de encontrarse siempre en condiciones de máxima operatividad, ya que de este modo se permite que los componentes se vayan reciclando. Debido a esta circunstancia nuestro estudio se centró en 3 llamamientos consecutivos que abarcan las fechas mencionadas, y que son constituidos cada uno de ellos con unos 150 hombres, por lo tanto el grupo inicial fue de unos 450 aproximadamente.

Los sujetos fueron evaluados antes de comenzar, e inmediatamente después de concluir el PIB, de unos dos meses de duración cada uno.

Aunque la idea inicial era la evaluación de dos grupos de 24 hombres cada uno, siendo 4 de ellos suplentes con objeto de sustituir a los que pudiesen tener algún

problema, es decir un total de 48, realmente se pudieron evaluar a un total de 72 hombres en tres grupos de 24 cada uno, gracias a la flexibilidad de que se dispuso de parte de la Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte (EMEFD), y de la Secretaría General del Consejo Superior de Educación Física y Deporte de las FFAA (CSEFDFAS).

De estos 72 sujetos varones, cuyas características biométricas podemos observar en la **tabla 5**, dos de ellos se hubieron de retirar en las primeras pruebas, uno de ellos por un síndrome compartimental agudo (1A2), y otro por un traslado urgente de destino (3B4). Ocho sujetos no concluyeron definitivamente el estudio por diversas causas: gonalgia aguda en la segunda prueba de tapiz (estudio post entrenamiento)(1A5); lesión grave de tobillo (1A6); exclusión del Servicio Militar por causa psiquiátrica (1B3); hernia inguinal intervenida quirúrgicamente (1B6); síndrome compartimental en la segunda prueba en tapiz (2C1); esguince de tobillo (2C2); distensión muscular durante la segunda prueba en tapiz (2D1); y lesión en menisco externo (3D2).

N = 72	Media	Desviación típica
Edad (años)	21	2
Talla (cm)	174,06	12,93
Peso (kg)	70,58	8,05

Tabla 5: Variables antropométricas

A todos y a cada uno de los sujetos se les explicó verbalmente y por escrito el objetivo del estudio y los métodos que iban a ser empleados. Antes del inicio de las pruebas de esfuerzo, y a modo de criterio de inclusión, se realizó a todos los sujetos una historia clínica completa. En ella se incluían sus antecedentes familiares y personales haciendo hincapié en patologías que afectaran al sistema cardiovascular, respiratorio y locomotor (lesiones o secuelas, cardiopatías, IAM, colesterolemia, diabetes, obesidad, muerte súbita,...) y en los posibles factores de riesgo para la realización de un ejercicio (tabaquismo, historia de palpitaciones, pérdidas de conciencia, fatiga desmesurada, respuestas anormales al ejercicio,...), junto con un cuestionario sobre los hábitos físico deportivos. También se llevó a cabo una exploración convencional por aparatos, de nuevo centrada en los sistemas cardiovascular, respiratorio y locomotor. Dentro del apartado de pruebas clínicas se incluía un electrocardiograma basal de 12 derivaciones, el registro de presión arterial en reposo en decúbito supino y en ortostatismo y una espirometría dinámica forzada con curvas flujo-volumen.

De estos grupos iniciales, y tras informar personalmente a todos ellos del objeto y características del proyecto, los sujetos firmaban una autorización sometiéndose a este estudio de investigación de acuerdo a las normas del Comité Ético de la Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte de la Universidad Complutense de Madrid.

Se procedió a la obtención del grupo de estudio definitivo. Para ello consideramos como patrones elementales la capacidad aeróbica (resistencia), que evaluamos con un Test de carrera de 12 minutos (test de Cooper modificado); la capacidad anaeróbica ("fuerza explosiva") mediante un test de salto vertical; y una evaluación de fuerza de miembros superiores mediante extensiones de brazos en el suelo. Con este procedimiento descartábamos los sujetos que se apartaban de la media, respecto a su capacidad física.

El Test de Cooper se ejecutó en la pista de atletismo de 400 m., de la Base de San Pedro. Se realizan cuatro series. El ejercicio consistía en recorrer, durante 12 minutos, la mayor distancia posible. Para ello se señalaba el final del tiempo con un toque largo de silbato, y en ese momento todos los corredores debían detenerse en el lugar que se encontraban, no pudiendo rebasar en ningún caso al corredor que les precedía. De estas circunstancias se ocuparon los mandos que acudieron a la prueba.

3.1.2. Criterios de selección

No registrar en la anamnesis y/o exploración clínica previa ninguna afectación en el momento presente que contraindicara (tanto relativa como absolutamente)²⁴⁹ la realización de una prueba de esfuerzo.

No estar bajo tratamiento de alguna sustancia, fármaco o droga que pudiera interferir los resultados de las pruebas.

3.1.3. Instrucción militar y entrenamiento físico

Siguiendo los criterios de "La instrucción en las Unidades de Operaciones Especiales", destacamos que la formación de estos soldados deber ser típica de Infantería, con los conocimientos complementarios que les permita combatir aisladamente, separados de sus mandos, en zonas de difícil acceso, de noche y con cualquier climatología.

El programa presenta las particularidades siguientes:

1er. período: Instrucción básica: técnicas comunes.

1ª fase (4 semanas): instrucción individual de combate y por parejas.

2ª fase (4 semanas): instrucción de patrullas y equipos.

3ª fase (2 semanas): ejercicios tácticos elementales.

2º período: Instrucción específica (2 ciclos de 2 meses cada uno): técnicas específicas.

Formación de especialistas.

Instrucción de Sec. y Cía.

Operaciones de guerrillas y contraguerrillas.

Nuestro estudio se realizó a lo largo del 1^{er} período, que es el que supone una actividad física más importante.

Las materias comunes a todas las unidades se amplían en estos casos intensificando la instrucción de combate nocturno, el tiro y la topografía. Del resto de las materias se hacen las consideraciones siguientes:

- * Del esquí, escalada y supervivencia, debe conocerse su técnica básica que permita la vida, movimiento y combate en zona montañosa y en invierno.
- * De explosivos, transmisiones y fotografía, debe instruirse a los soldados que ocupen puesto táctico que lo requiera.
- * Todos los soldados deben estar instruidos para combatir en pequeños

núcleos urbanos y a utilizar el helicóptero para sus desplazamientos tácticos.

- * Las técnicas del combate en agua son necesarias para las UOE,s. insulares. El resto debe conocer estas técnicas de forma elemental y en grado proporcional a la existencia de costas en su Región Militar (RM).
- * La instrucción práctica se hará preferentemente en las salidas mensuales al campo, dentro de la RM.
- * Los ejercicios en colaboración con otras unidades, deben planearse conjuntamente para no desvirtuar la instrucción y el empleo de estas UOE,s.
- * Los ejercicios con Ejércitos extranjeros deben orientarse a práctica de técnicas específicas, realizándolo equipos operativos integrados por cuadros de mando o personal voluntario especial muy cualificado. En los de guerrillas y contraguerrillas, debe participar toda la unidad.

Por último, la naturaleza y el nivel de instrucción que estas U,s. realizan aumentan los riesgos de accidentes, en relación con la instrucción del resto de las

unidades del Ejército. La observación estricta de las normas de seguridad, recogidas en distintos reglamentos y normas, especialmente en el tiro, la instrucción nocturna y en la utilización de vehículos, son preocupación constante de los cuadros de mando y fiel reflejo de su profesionalidad. La disminución de los accidentes en instrucción y ejercicios, garantiza la seguridad del personal.

Finalizada la Fase, y antes de la Jura de Bandera, se procederá a la ceremonia de la "entrega de la Boina".

Un objetivo importante a conseguir en esta 1ª Fase es el conocimiento por parte del Mando de las aptitudes físicas de los reclutas.

Desde el primer momento se le explica la importancia de su misión. Es en esta 1ª Fase donde el valor del ejemplo personal alcanza una mayor importancia como elemento educativo; por ello el Mando extrema su esfuerzo personal no exigiendo nada al recluta que previamente no haya hecho él.

Objetivos de la Instrucción Físico-Militar

- Contribuir a la transformación del recluta en combatiente en el más breve plazo posible.
- La tabla de adiestramiento sirve como tabla de calentamiento para la defensa personal.

PERÍODO BÁSICO

Tabla de adiestramiento

Defensa personal

Orden cerrado

Instrucción de combate diurna

Instrucción de combate nocturna

Instrucción preparatoria del tiro

Tiro diurno

Armamento

Formación Moral

Formación Militar

- La defensa personal debe practicarse un mínimo de 3 veces a la semana para lograr la efectividad necesaria.

Objetivos de la Instrucción de Orden Cerrado

- Saludos, giros y marcha, sin armas, en los diferentes pasos.

- Movimientos con armas (fusil de asalto: FUSA), a pie firme y marchando.
Incluyendo cargas y fuego.

- Formaciones y desfiles

Tiene por objeto la presentación de la Unidad en cuantos actos intervenga

Objetivos de la Instrucción de Combate Diurno y Nocturno

- Instrucción individual del combatiente.

- Será objeto de atención preferente.

- Se iniciará siempre con la Tabla de combate.

Objetivos de la Instrucción de Tiro

- Instrucción preparatoria.

- Ejercicios de tiro de instrucción con FUSA indicados en el Reglamento de Tiro de Armas individuales.

Desde el primer momento los Mandos extreman las medidas de precaución para evitar accidentes (p.e.: disparo fortuito por olvido de cartucho en la recámara). Los que tengan que esperar para la realización del ejercicio de Tiro realizan ejercicios de lanzamientos de granadas lastradas y otros ejercicios complementarios y preparatorios. Uso de simuladores de tiro y de armas de aire comprimido o gas al objeto de ahorro en armas y municiones.

A. Preparación genérica

Es la preparación básica que permite al individuo enfrentarse al entrenamiento específico.

B. Endurecimiento

B1. Carrera continua

Se hace por terrenos que no sean muy duros, sin desniveles demasiado pronunciados, de 5 a 10 km. a un ritmo de carrera intermedio, sin cambios bruscos de ritmo. Al terminar se evita tener más de 150 pulsaciones por minuto.

Al iniciar el soldado la preparación física, convendrá partir la carrera en dos pausas de cuatro a cinco minutos y realizar una serie de ejercicios de movilidad

articular que le vayan acondicionando a correr con soltura, relajado, y empleando en el esfuerzo aquellos músculos imprescindibles. A medida que progresamos estas pausas se pueden ir reduciendo y dejarlas en una sola para el final de la carrera y que sirva al mismo tiempo de recuperación y relajación.

En las pausas se evita bajar de las 120 pulsaciones por minuto.

Estas pausas iniciales sirven para controlar el ritmo cardíaco de los individuos y controlar su esfuerzo.

C. Ejercicios de movilidad articular

Tienen como principal objetivo servir como "pausa activa recuperadora" del esfuerzo de la carrera continua, sin que en ningún caso descienda el nivel de esfuerzo por debajo de las 120 pulsaciones por minuto.

También proporciona soltura muscular articular.

Ejercicios tipo:

- 1ª.- Circunducción de cabezas a derecha e izquierda con insistencia.
(Ejercicios de cuello)
- 2ª.- Flexión de tronco en el plano lateral. (Articulación de caderas)
- 3ª.- Circunducción del tronco a derecha e izquierda con insistencia.
(Articulación de caderas).

- 4ª.- Circunducción de brazos adelante y atrás. (Articulaciones del hombro).
- 5ª.- Gran flexión de piernas adelantadas alternativamente con insistencia.
- 6ª.- Tierra inclinada. Flexiones de brazos. (Series de 10 flexiones por ejemplo, aumentando progresivamente el número de series).
- 7ª.- Tendido prono. Brazos al frente. Arquearse. (Hiperextensión de tronco)
- 8ª.- Tendido supino. Tijeras horizontales y verticales. (Serie de 20 tijeras)
- 9ª.- En pie, marchando. Lanzamiento alternativo de brazos arriba y atrás.
- 10ª.- Sobre la marcha. Saltos al frente en cuclillas. (Salto de la rana).
- 11ª.- Desplazamientos laterales rápidos. (En pie).
- 12ª.- Salto arriba con elevación brusca de rodillas al pecho.
- 13ª.- En cuclillas sobre una pierna, la otra estirada al frente. Intentar ponerse en pie.
- 14ª.- Flexión de brazos en suspensión. (De ramas, barras, etc.)
- 15ª.- Lanzamiento desde cuclillas a pie, de objetos pesados. (Piedras, troncos, etc.)
- 16ª.- Lanzamiento de piernas arriba. Tocar la mano contraria. (Alternativamente).
- 17ª.- Tendido supino, piernas flexionadas, manos en la nuca. Elevación del tronco a la vertical sin separar las manos de la nuca ni pies del suelo.
- 18ª.- Tendido supino. Brazos en cruz. Sin separar el tronco del suelo, tocar alternativamente con ambos pies la mano contraria.

- 19^a.- Tendido supino. Brazos en cruz piernas juntas arribas. Flexión a izquierda y derecha sin mover el tronco.
- 20^a.- Tendido prono. Pies cogidos por el compañero. Brazos al frente. Hiperextensión del tronco.
- 21^a.- En pie marchando. Entrega de balón a tras.
- 22^a.- Marchando. Oscilación de brazos en cruz y atrás con insistencia, y al frente intercruzándose con insistencia.
- 23^a.- Marcha relajante.

D. Recorrido natural

Se elige un itinerario que permita, sobre la carrera, practicar los siguientes ejercicios y por este orden a ser posible:

- Aceleraciones de 200 a 300 metros (dos o tres)
- Trepa por rocas.
- Saltos (caídas con pies juntos desde alturas de 1 a 3 metros).
- Equilibrios.
- Franqueamientos de zanjas, setos y tapias.
- Trepa a árboles.
- Levantamiento y lanzamiento de pesas.
- Carrera por fuertes pendientes.

- Paso de todo tipo de obstáculos.
- Luchas
- Picadas de velocidad
- Carrera suave de relajamiento.

Esta clase da al soldado la sensación de que es improvisada y que se van pasando los obstáculos que se encuentran, aunque es minuciosamente preparada incluso colocando con anterioridad los obstáculos cuando es preciso.

E. Gimnasia de combate

Estas sesiones se ejecutan con uniforme de combate completo, con mochila y armamento.

Contiene tres partes fundamentales y un pequeño calentamiento inicial (5'):

- Calentamiento
- Trote (fusil en posición de "prevengan", es decir oblicuo por delante del tórax) adelante, atrás y lateral.
- Salto arriba con lanzamiento del arma (a la pitada).

F. Esgrima de fusil

Destacamos aquí las órdenes más comunes, y la definición de cada una de ellas:

- DESCANSO (Pierna izquierda adelantada lateralmente, fusil adelantado lateralmente)
- FIRMES. (Se une la pierna izquierda y el arma al cuerpo).
- PREVENGAN. (Arma terciada hombro izquierdo, cadera derecha separada del tronco).
- EN...GUARDIA. (Brazo izquierdo estirado, culata sujeta a la cadera por el codo).
- ¡MARCHAR! (Avanza pierna adelantada, dando fuerte patada al suelo).
- ¡ROMPER! (Retrocede pierna adelantada, dando fuerte patada al suelo).
- ¡ARRESTO! (Cuerpo no se adelanta, se estiran ambos brazos se acompaña con un fuerte pisotón del pie adelantado).
- ¡FONDO! (Se ejecuta con energía y dando un fuerte grito de intimidación. Se recupera la posición rápidamente).
- ¡CULATAZO A LA CARA! (El arma se coloca horizontal, se lanza el culatazo y se avanza un paso al frente, al tiempo que se da un golpe de bayoneta a la cabeza del enemigo).
- ¡PARADA A LA DERECHA! (Se desplaza el arma verticalmente a cubrir

el lado derecho).

- ¡PARADA A LA IZQUIERDA! (Se desplaza el arma verticalmente a cubrir el costado izquierdo).
- ¡PARADA ARRIBA! (Se desplaza el arma horizontalmente para cubrir la cabeza y se flexionan las piernas).
- ¡PARADA BAJA! (Se desplaza el arma horizontalmente hacia abajo al tiempo que retrocedemos por salto el cuerpo hacia atrás.).
- ¡ENEMIGO A LA DERECHA Y EN GUARDIA! (Se realiza en tres tiempos
 - 1º - Se pasa a la posición de prevengan.
 - 2º - Se hace el giro ordenado de salto sobre ambos pies.
 - 3º - Se pasa a la posición de "En Guardia"
- ¡ENEMIGO A LA IZQUIERDA Y EN GUARDIA!. Idem. pero al lado ordenado.
- ¡ENEMIGO A RETAGUARDIA Y EN GUARDIA! Idem.
- ¡RODILLA EN TIERRA! (Se adopta la posición con el arma en prevengan, apoyando la culata en el suelo).
- ¡A...TIERRA! (Efectuándolo con el arma y quedando en la posición de prevengan tendido).
- ¡CUBIERTA COMPLETA! (Se pega al lado derecho de la cara al suelo y se cubre la cabeza con el arma).
- ¡ENEMIGO A LA DERECHA Y RODAR! Se realiza en tres tiempos:

- 1º - Pegamos el arma al costado derecho.
 - 2º - Rodamos al costado indicado.
 - 3º - Se adopta la posición de "En Guardia".
- ¡ENEMIGO A LA IZQUIERDA Y RODAR! Idem. a su costado.
 - ¡ENEMIGO A RETAGUARDIA Y RODAR! Idem
 - ¡EN PIE! (Se realiza correctamente y de salto).
 - Carreras y caídas hacia delante quedando en guardia al frente, costados y retaguardia

G. Ejercicios de aplicación militar

- Carrera en prevengan (muy abiertos)
- A tierra y en pie (carrera)
- Alto y fondos alternativos (carrera)
- A tierra, rodar y enemigo a la izquierda, derecha o retaguardia. Carrera.
- Saltos en altura y longitud, flexiones. Carrera.
- Carrera progresiva y velocidad
- Marcha relajante
- Tiro intensivo simulado, desde cuerpo a tierra y de la cadera.
- Tiro desde el hombro izquierdo y derecho aprovechando abrigos y cubiertas.

- Saltos individuales de abrigo en abrigo.
- Cuerpo a tierra rodar y reptar.
- Amago de ataque a bayoneta a árboles etc.

H. Recorrido de aplicación militar

- Carrera a distintos ritmos con equipo.
- Salvar diferentes obstáculos que se presenten en el terreno (trepa por terraplenes y rocas, escalada de tapias, salto desde obstáculos, saltos desde fosos y zanjas, paso por tapias en equilibrio, transporte de heridos y pesos, pasos de charcos y cursos de agua, pasos por conducciones de agua, entrada y salida de edificios por puertas y ventanas, trepa por árboles, etc, etc, y todos aquellos obstáculos naturales que se presenten en la zona, incluidas subidas y bajadas de fuerte pendiente.
- Se puede sustituir esta última parte por un paso de la Pista Militar por Equipos Elementales.

En estas distintas partes (ejercicios de aplicación recorrido de aplicación y paso de la Pista Militar) es conveniente seguir el método de "SÍGAME" por Equipos Elementales, (el jefe del Equipo Elemental empieza a moverse y el resto del Equipo

le sigue haciendo lo mismo y en los mismos lugares, de forma que cuando el anterior abandona un abrigo lo ocupa el siguiente).

I. Trabajo en circuitos

Son ciclos de ejercicios en forma continuada con pausas intermedias.

Cada uno de los ejercicios puede repetirse hasta 20 veces, y el grupo de 5 a 10 ejercicios (de que consta el circuito) repetirse o triplicarse, eligiendo en cada caso los ejercicios adecuados.

Este sistema permite trabajar simultáneamente tanto el aspecto neuromuscular como la condición aeróbica y anaeróbica (en equilibrio o en deuda de oxígeno).

En líneas generales se recomienda un ciclo de 10 ejercicios (o estaciones) con repetición de cada uno en un tiempo dado (observándose el incremento de las mismas a medida que se mejora) y con la pausa suficiente para pasar de uno a otro ejercicio.

Como norma orientativa se tienen en cuenta los siguientes datos:

- Situar las estaciones en circuitos, intercaladas 20 o 25 mts.
- Dividir la unidad en grupos (por ejemplo Equipos Elementales).
- Cada Equipo se sitúa en una estación.
- A la orden se comienza a hacer el ejercicio.
- El número de repeticiones a realizar en cada estación es el máximo que pueda hacerse en 40 segundos dividido por 2 (carga inicial de

trabajo).

- Se puede ir aumentando este número de repeticiones a medida que progrese en la mejora de la condición física del individuo y siempre que el ritmo cardíaco se conserve entre las 140 - 150 pulsaciones por minuto.

El número de vueltas al circuito será de dos o tres vueltas al principio, pudiendo llegar a cinco.

- El tiempo total a invertir considerando tres vueltas al circuito es de unos 35 minutos (orientativo).

EJEMPLO ORIENTATIVO DEL CIRCUITO

- 1ª Estación. Flexiones de brazos desde tierra inclinada (series)
- 2ª Estación. Abdominales: Tendido Supino manos en la nuca, piernas recogidas, pies pegados al suelo. elevación del tronco arriba sin despegar manos y pies.
- 3ª Estación. Dorsales: Tendido prono, brazos hacia delante.
Hiperextensión del tronco (tronco en arco).
- 4ª Estación. Piernas: Saltar con pies juntos alternativamente a uno y otro

lado de un banco, tronco o raya marcada en el suelo.

- 5ª Estación. Voltereta hacia adelante y hacia atrás en colchoneta.
- 6ª Estación. Flexiones de brazos en suspensión (series).
- 7ª Estación. Salto de profundidad con pies juntos.
- 8ª Estación. Salidas de velocidad (40 mts lanzados).
- 9ª Estación. Lanzamiento de pesos con ambas manos (6-7 kgs, balón medicinal, tronco o piedra).
- 10ª Estación. Pases en ocho (con balón medicinal, tronco o piedra).

Se pueden ir cambiando cada uno de los ejercicios a fin de darles mayor amenidad al trabajo al tiempo que aumenta su dureza a medida que progresamos.

J. Salto de aparatos

Calentamiento fuerte, especialmente de muñecas, tobillos, rodillas, hombros y cuello (5').

PROGRESIÓN

- Salto de potro a 1,30 mts, con piernas abiertas.
- Salto de potro a 1,10 mts, pisando en cima.

- Salto de potro a 1,10 mts, con interior.
- Salto de potro a 1,20 mts, con interior.
- Salto de caballo a 1,20 mts, apoyando lejos.
- Salto de caballo a 1,40 mts, apoyando lejos.
- Salto de caballo a 1,10 mts, apoyando cerca.
- Salto de plinton con voltereta.
- Salto por encima del plinton a 0,60 mts, y caída con voltereta.
- Salto de plinton exterior con piernas abiertas.
- Salto de plinton interior.
- Salto de potro y caballo con doble apoyo.

Todos los saltos se realizarán con trampolín rígido y colchonetas.

K. Judo Y defensa personal

Debido a la influencia que tienen en la defensa personal, el Judo y el Karate, se considera necesario que le combatiente el conocimiento de las técnicas que emplean estas dos "Artes Marciales".

1. Progresión de la enseñanza

Objeto: Tiene por objeto desembarazarse del contrario o ponerle fuera de combate:

- Cualquiera que sea su fuerza.
- Lo más rápidamente posible.

Si un enemigo nos ataca con un arma, no tiene intención de fallar es por tanto indispensable que sepamos que es imprescindible esquivar. Por un desplazamiento abriremos paso a la derecha o a la izquierda, según el ataque, principalmente con la finalidad de :

- 1º Apartarse de la trayectoria del arma.
- 2º Crear un vacío donde antes estaba nuestro cuerpo.
- 3º Este vacío desequilibrará al contrario.
- 4º Aprovechando el desequilibrio construiremos nuestro ataque.
- 5º Atacaremos con :

Una llave (kanstsesu-waza)

Una proyección (naca-waza)

Un golpe: Con el canto de la mano

Con el puño (tsuki)

Con el pie (kosi)

Golpe de rodilla (hiza-guerii)

Golpe de codo (empi)

Una estrangulación (shime-wzaza)

Una inmovilización (csae-komi-waza)

2. La guardia

- Pierna izquierda adelante y derecha atrás y separada lateralmente.
- Rodilla ligeramente flexionadas.
- Peso y equilibrio sobre ambas caderas.
- Tronco ligeramente inclinado hacia adelante.
- Hombros bajos y caídos naturalmente.
- Brazo izquierdo adelantado y semiflexionado, mano abierta.
- Brazo derecho flexionado y más retrasado que el izquierdo.

3. Caídas

- De espalda.
- De costado.
- Adelante.
- Cabeza firme. Mentón recogido contra el pecho.
- Evitar golpearse dedos y codos, así como los pies.
- Golpear fuerte en suelo con brazo y antebrazo para amortiguar el golpe

3.2. MATERIAL DE LABORATORIO

Todo el estudio se realizó entre el laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte de la Universidad Complutense de Madrid y las instalaciones del Grupo de Operaciones Especiales nº 1 de Colmenar Viejo (Madrid), del Ejército de Tierra.

El laboratorio cuenta con los medios y condiciones adecuadas para la realización de pruebas de esfuerzo así como las necesarias instalaciones aledañas (sala de exploración física, sala de antropometría, vestuarios y duchas).

Las instalaciones del Grupo de Operaciones Especiales nº1 reúnen todos los medios y condiciones adecuados para la realización de las exploraciones complementarias elementales, y la realización del Test de Campo.

En el estudio, además del material convencional para realizar una exploración física adecuada (depresores linguales, linterna, otoscopio, oftalmoscopio, martillo de reflejos, fonendoscopio, esfigmomanómetro de mercurio, podoscopio, negatoscopio, camilla de exploración), se ha empleado el resto de material específico que a continuación se detalla:

- **Espirómetro** marca Microespir M-22, cuyo rango de medidas se sitúa entre 0 y 10 litros, con una sensibilidad de 0,01 litro, calibrado para cada sesión según las

condiciones de presión barométrica, humedad y temperatura.

- **Báscula** marca DETECTO (Lafayette Instruments Company) cuyo rango de medida se sitúa entre 0 y 150 kilogramos y su precisión es de 200 gramos. Con ajuste del cero previo a cada medición y calibraciones periódicas.

- **Tallímetro** manufacturado por Holtain Limited Co. (EEUU) con plano triangular de Broca para la cabeza y sistema de cremallera de alta precisión, cuyo rango de medida abarca desde 63 hasta 213 cm., con una error de medida de $\pm 0,1$ cm.

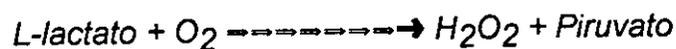
- **Medidor de pliegues** , y otros elementos de **antropometría** (Holtain Limited, Crymych, Reino Unido), con intervalo de 0,2 mm.

- **Electrocardiógrafo** CARDIOGNOST EK 56 (de la casa Hellige) que ofrece un registro simultáneo sobre papel en 3 ó 6 canales, que cumple las más estrictas normas de seguridad y que proporciona junto a dicho registro una interpretación diagnóstica en base a unos 350 valores medidos en el electrocardiograma. Entre sus características técnicas habría que destacar un doble filtro, uno muscular y otro de red (automático de 50 ó 60 Hz), el ajuste automático de la línea de base, el control automático de la selección de derivaciones, calibración automática, así como un indicador de ritmo cardiaco cuyos límites se sitúan entre 30 y 300 l.p.m..

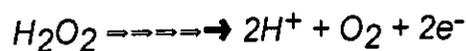
- **Monitor electrocardiográfico BEXKOP (Bexen-Osatu).** Es un monitor de una derivación que nos muestra además la frecuencia cardíaca en una pequeña pantalla digital. Tiene la posibilidad de congelar el registro, una alarma acústica ajustable cuyos límites inferior y superior van de 30 hasta 300 l.p.m. respectivamente, selección de barrido a 25 ó 50 mm · s⁻¹ y un multiplicador de la amplitud de la imagen al doble del valor estándar (1mm. por milivoltio)

- **Tapiz rodante LE-6000 (Jaeger).** Es uno de los más modernos tapices para su aplicación en fisiología del ejercicio, ya que los límites de velocidad y pendiente son mucho mayores que los utilizados en cardiología. Además su tamaño (anchura y longitud de la zona de apoyo) es mucho mayor para permitir la amplia zancada de algunos deportistas. La velocidad se puede ajustar desde 0,1 a 30 km·h⁻¹ con incrementos mínimos de 0,1 km·h⁻¹. La pendiente también es graduable en un rango que se sitúa entre el 0 y el 40% con un incremento mínimo del 0,5%. La cinta posee un panel de mandos desplazable desde el que se puede programar la prueba completa (hasta un total de 12 escalones y la recuperación, 6 programas en memoria) o se puede controlar manualmente la misma. Cuenta además con dos sistemas de detención automática de seguridad (uno al alcance del paciente y otro en el panel de control), así como con barras laterales de seguridad que permiten al sujeto recuperar el equilibrio ante un posible traspies.

- **Desfibrilador** DEFIPORT SCP 840 (Hellige Servocard). Es un desfibrilador de carga inmediata con posibilidad de una selección manual de la misma. Su rango oscila entre 0 y 320 Julios. Se encuentra encendido y dispuesto (es comprobado antes de cada sesión) durante la ejecución de todas las pruebas de esfuerzo según normas de seguridad.
- **Carro de paradas (material clínico y fármacos)**. Todo el necesario para una posible parada, siguiendo las normas del Manual de Medicina Clínica. Diagnóstico y Terapéutica²⁰⁴.
- **Estación meteorológica**. Consistente en un barómetro de mercurio con una precisión de ± 1 mmHg., higrómetro por el método del globo húmedo y termómetro de alcohol.
- **Analizador de lactato** YSI 23L (Yellow Springs Instrument Co.). Se trata de un analizador automático capaz de medir L-lactato en sangre total, sangre lisada, plasma o líquido cefalorraquídeo. Utiliza un método de análisis electroenzimático, éste se basa en las siguientes reacciones químicas:



FAD y L-lactato oxidasa



Existe un electrodo que es capaz de captar este flujo de electrones, siendo la corriente medida proporcional a la cantidad de lactato contenido en la muestra.

El analizador ofrece un rango de medida de 0 a 15 mmol·l⁻¹, dentro del cual ofrece un comportamiento lineal, y su resolución es de 0.1 mmol·l⁻¹. El aparato es calibrado diariamente y previamente a cada prueba con unas soluciones estándar de 5 y 15 mmol·l⁻¹, con lo cual aseguramos la precisión y la linealidad citadas.

- **Sistema de análisis de gases CPX** (Medical Graphics Corporation, St. Paul, Minnesota). Se trata de un sistema de análisis de gases durante pruebas de esfuerzo con metodología respiración a respiración. Consta de tres unidades principales:

- Neumotacógrafo (CPFS/D Portable Spirometer), que mide los flujos espiratorios con ajuste de linealidad hasta valores por encima de los 200 l·min⁻¹.

- Analizador de gases (que mide la fracción de CO₂, mediante cámara de infrarrojos, y de O₂, mediante célula de zirconio) de respuesta rápida y continua, que permite obtener las presiones teleespiratorias de ambos gases.

- Unidad de control: El aparato posee entradas del neumotacógrafo y del analizador en tiempo real, también recibe una señal analógica del registro ECG a partir de la cual calcula la frecuencia cardíaca. Puede conectarse al ergómetro y recibir y enviar señales sobre la carga aplicada. Con todos los datos que recibe un microprocesador realiza las conversiones entre las condiciones ATPS, STPD y BTPS y calcula todos los parámetros

ergoespirométricos solicitados, al mismo tiempo que es capaz de presentar en pantalla en tiempo real una amplia selección de ellos en forma de tabla y gráficos. Dispone además de un amplio "software" para la obtención de informes que incluyen representaciones gráficas de cualquiera de los parámetros analizados.

3.3. MATERIAL INFORMÁTICO

- **Ordenador Inves** (Investrónica, Washinton, EEUU) con microprocesador 486 a 66 Mhz, 100 % IBM compatible.
- **Impresora laser Everex** emulación Hewlett Packard, modelo HP LaserJet serie II.
- **Impresora de inyección de chorro de tinta Hewlett Packard**, modelo Deskjet 500.
- **Procesador de textos WP Windows** versión 6.0 (Wordperfect Co.).
- **Programa estadístico SPSS** para Windows versión 5.0 SPSS Inc., y **R-Sigma**.

- Aplicación gráfica **Harvard Graphics** versión 3.0 (Software Publishing) para la confección de gráficos y tablas.
- **File Maker Pro** para Windows.
- **D- base IV** para recogida de datos.

3.4. MATERIAL FUNGIBLE Y ACCESORIO

Se contó además con todo el material fungible y accesorio necesario para el correcto funcionamiento del aparataje de laboratorio, para la extracción de las muestras biológicas y para el análisis de las mismas, así como para la elaboración de resultados y redacción del trabajo.

3.5. PERSONAL INVESTIGADOR

Todas la parte experimental fue realizada por médicos especialistas en Medicina de la Educación Física y el Deporte, pertenecientes a la Unidad de

Investigación de la Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte de la Universidad Complutense de Madrid. También se contó con la colaboración de numeroso personal militar destinado en el Grupo de Operaciones especiales, tanto profesional como de reemplazo.

Para el manejo estadístico se contó con el asesoramiento de la Unidad de Estadística del Ministerio de Defensa.

Para la realización de las distintas pruebas el personal investigador estuvo distribuido de la siguiente manera:

Una persona se encargaba de la calibración, puesta en marcha y control del CPX durante el desarrollo de los test.

Otro investigador atendía al monitor en el que se mostraba el registro electrocardiográfico continuo de la derivación CM5, anotando cualquier alteración electrocardiográfica que pudiera aparecer durante la prueba.

Un tercer investigador calibraba el analizador de lactato antes de cada prueba, tomaba las muestras de sangre capilar e introducía las mismas en dicho analizador, registrando sobre una planilla diseñada a tal fin los valores de las concentraciones de lactato obtenidos en cada escalón del test.

3.6. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

3.6.1. Consideraciones previas a la prueba

Antes de la realización de la/s prueba/s de esfuerzo se debían cumplir una serie de requisitos tanto por parte del sujeto voluntario como por parte del investigador:

a. Por parte del sujeto voluntario:

- No haber realizado un esfuerzo físico importante las 24 h anteriores a la prueba.
- No haber fumado las 24 h anteriores a la prueba.
- No estar bajo tratamiento con algún fármaco que pudiera modificar la respuesta normal al ejercicio y la percepción del esfuerzo.
- No haber ingerido cafeína o cualquier otro excitante el día de la prueba.

b. Por parte del investigador:

- Comprobar las condiciones atmosféricas (temperatura, presión ambiental y humedad relativa del aire). La temperatura debía encontrarse entre los 20 y 25°C y la humedad del aire no superar el 60%.
- Colocación de tres electrodos superficiales sobre la piel del sujeto en las posiciones oportunas para una derivación CM5. Asegurarse (durante el

calentamiento) de que se obtenía un trazado ECG continuo con una señal lo suficientemente clara y limpia para permitir el seguimiento cardiológico de la prueba y el cálculo de la frecuencia cardíaca.

- Calibración y puesta a punto del material a emplear antes de cada prueba, tal y como ya se ha expuesto.

3.6.2. Criterios de maximalidad

El test se aceptaba como máximo si se cumplían dos de los siguientes criterios:

- a. **aumento del VO_{2max} inferior al 10%** al final de una carga en relación al final de la carga anterior;
- b. **alcanzar una frecuencia cardíaca superior al 95% de la frecuencia cardíaca máxima teórica** (que corresponde a 220 menos la edad del sujeto en años);
- c. **cociente de intercambio respiratorio ($VCO_2 \cdot VO_2^{-1}$) mayor de 1,15;**
- d. **agotamiento del sujeto con la imposibilidad de continuar la prueba**₂₅₀.

3.6.3. Descripción general del estudio

3.6.3.1. Elaboración de la historia clínica

Por medio de la misma conocíamos los antecedentes patológicos de los sujetos, tanto personales como familiares, así como sus hábitos de entrenamiento físico, alimentación, etcétera. Esto nos permitía orientar la exploración clínica sistemática que se realizó a cada uno de ellos (figuras 4 y 5).



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
ESCUELA DE MEDICINA DE LA
EDUCACION FISICA Y EL DEPORTE
Ciudad Universitaria - Facultad de Medicina
Pabellón núm. 6 pl.º 5.º - 28040 Madrid

CENTRO DE EVALUACION MEDICO DEPORTIVA

Fecha _____
N.º H.º _____

Apellidos _____
Nombre _____ D.N.I. _____
Sexo _____ Fecha de nacimiento _____
Lugar de nacimiento _____

Domicilio _____ N.º _____
Ciudad _____ D.P. _____
Provincia _____ Teléfono _____

Profesión _____
Deporte _____ Especialidad _____
Club _____ Federación _____
Entrenador _____
Preparador físico _____

Figura 4: Modelo de historia clínica empleado

CUESTIONARIO

ESTE CUESTIONARIO SIRVE PARA EVALUAR SU HISTORIAL MEDICO Y DEPORTIVO, OFRECIENDONOS DATOS DE GRAN IMPORTANCIA PARA SU ADECUADA VALORACION. RELLENELO CON CUIDADO Y CONSULTE CON NOSOTROS SI LE SURGE ALGUNA DUDA.

PARA CONTESTAR:

- Coloque una «X» o conteste «SI» o «NO» donde corresponda.
- Escriba las precisiones o aclaraciones necesarias en los espacios destinados a ese fin.
- Utilice lápiz para poder corregir cualquier error.

AUTORIZACION:

Autorizo al Equipo Médico del Centro de Evaluación de la Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte de Madrid, para que realicen en mi persona los estudios que consideren necesarios para mi evaluación funcional, aceptando los posibles riesgos derivados de los mismos, en este momento y en futuras visitas que pueda efectuar a dicho Centro.

En cualquier momento podré negarme a realizar o proseguir alguna de las pruebas, lo cual expresare con claridad.

Firma del padre o tutor
(en menores de edad)

Firma del interesado

Figura 5: Modelo de historia clínica (autorización escrita)

3.6.3.2. Test aeróbico

3.6.3.2.1. Protocolo

Se realiza sobre un tapiz rodante donde se sitúa al sujeto para correr al ritmo que se mueve la cinta. Se puede modificar la velocidad y la pendiente.

Los datos más importantes obtenidos aparecen en la **figura 6**.

Se diseñó un protocolo específico para el presente proyecto que consistía básicamente en dos fases de prueba:

1. Fase submáxima:

Después de un calentamiento de seis minutos a una velocidad que oscila entre 6 y 10 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, y con una pendiente del 1%, comienza a trotar, y se va aumentando la velocidad de paso cada tres minutos en 1 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, con monitorización electrocardiográfica, evaluación subjetiva de la fatiga y determinación de lactato capilar. Esta fase se mantiene hasta llegar al umbral anaeróbico (lactato = 4 mM: OBLA).

2. Fase máxima:

Tras el correspondiente calentamiento, realizado con una carga semejante al umbral láctico, comienza la prueba. Se mantiene constante la velocidad, que corresponde al umbral anaeróbico, y se va aumentando la pendiente cada minuto, hasta llegar a la capacidad máxima.

PARÁMETROS DEL TEST AERÓBICO

- a. Ventilación máxima ($l \cdot \text{min}^{-1}$).
- b. Frecuencia cardíaca máxima.
- c. Cociente de intercambio gaseoso (RER).
- d. $\text{VO}_{2\text{max}}$ absoluto ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$).
- e. $\text{VO}_{2\text{max}}$ relativo ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg de peso}^{-1}$).
- f. V CO_2 ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$).
- g. Pulso de O_2 .
- h. Tensión arterial: de reposo, a los 5', y a los 10'.
- i. Umbral láctico, y sus parámetros complementarios.
- j. Umbral anaeróbico, y sus parámetros complementarios.

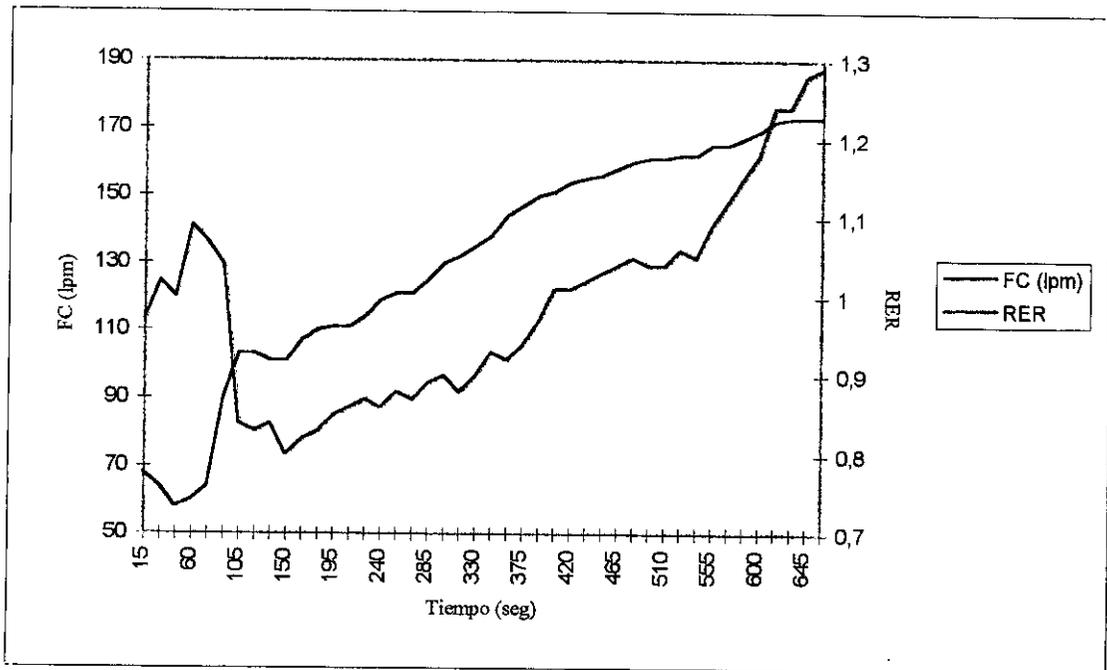
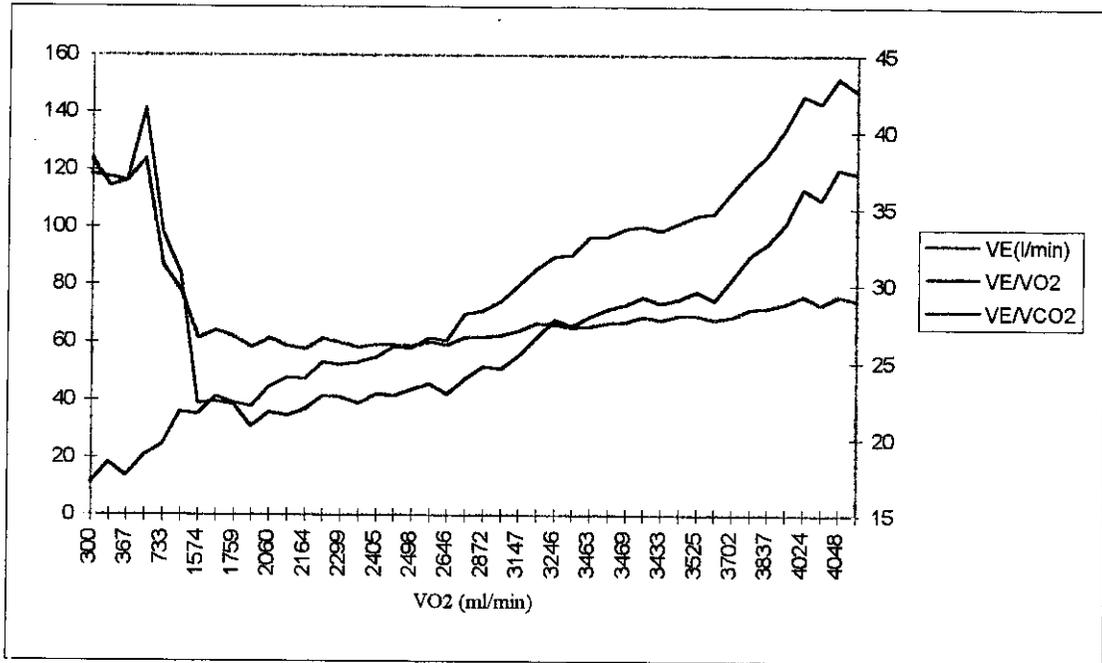
Figura 6: Parámetros más importantes obtenidos en el Test Aeróbico

3.6.3.2.2. Análisis de gases y umbral ventilatorio

Durante las pruebas máximas, se monitorizaron los datos del intercambio gaseoso y de la ventilación de forma continua mediante un sistema computerizado de análisis ergoespirométrico respiración a respiración (CPX, Medical Graphics Corp., St. Paul, Minnesota)⁸⁶. El sistema fue calibrado antes de cada prueba. Para ello en primer lugar se le introducen las variables atmosféricas (temperatura, presión y humedad relativa del aire) obtenidas de la lectura de la estación meteorológica existente en el laboratorio. Tras ello se calibra el neumotacógrafo mediante el empleo de una jeringa de 3 l., cuyo volumen es inyectado y extraído en cinco ocasiones y a altas velocidades de flujo. Para la calibración de los analizadores de gases se empleaban gases cuyas concentraciones de O₂ y CO₂ se encontraran a ambos extremos del rango que iba a ser medido. Para lograr esto se utilizaba, por un lado, el aire ambiental (cuyo contenido en O₂ y CO₂ en condiciones estándar de laboratorio son conocidas: 21% O₂ y 0,03% de CO₂), que es uno de esos extremos. La calibración se completaba con un gas de calibración cuyas concentraciones de O₂ y CO₂ se encuentran en el otro extremo (16% oxígeno y 7% CO₂). Este extremo viene marcada por la capacidad del individuo ejercitante de extraer oxígeno del aire ambiente y eliminar CO₂ mediante la ventilación, y no va más allá de las concentraciones del gas de calibración. Tras esto el aparato establece el retraso entre la medida del flujo (instantánea) y la de cada uno de los analizadores para proceder a una correcta integración en el tiempo de ambas

funciones, lo que nos dará los valores de consumo de oxígeno (VO_2) y producción de CO_2 (VCO_2). Además este sistema, junto con la rapidez de respuesta de los analizadores nos permite conocer el valor de la concentración de cada uno de estos gases en el último instante de la espiración, lo que se conoce como presión teleespiratoria del gas, parámetro de gran ayuda para asegurar una precisa determinación del umbral anaeróbico por el método ventilatorio.

El ordenador almacena todos estos datos presentándolos en una gráfica y una tabla de datos en pantalla en tiempo real. Esta gráfica esta filtrada mediante un filtro digital de tipo promediación continua (en original "smoothing") para facilitar la visión del comportamiento de los parámetros escogidos. Dichos parámetros fueron el VO_2 , la V_E y los equivalentes ventilatorios tanto del O_2 como del CO_2 ($\text{V}_E \cdot \text{VO}_2^{-1}$ y $\text{V}_E \cdot \text{VCO}_2^{-1}$), para el caso de la gráfica. Se podían ir leyendo en cada respiración, además de los cuatro citados, el tiempo, la frecuencia cardíaca (FC), la producción de CO_2 (VCO_2), la frecuencia respiratoria, el coeficiente de intercambio respiratorio ($\text{RER} = \text{VCO}_2 \cdot \text{VO}_2^{-1}$), la carga, y las presiones teleespiratorias de O_2 y CO_2 ($\text{P}_{\text{ET}\text{O}_2}$ y $\text{P}_{\text{ET}\text{CO}_2}$) como se muestran en las **figuras 7 y 8**.



Figuras 7 y 8: Test aeróbico

Todos los datos obtenidos durante la prueba son almacenados por el ordenador en forma de ficheros de forma que en cualquier momento tenemos acceso a la prueba de un paciente para repetirla o obtener un informe de la misma. El formato de dichos informes también se puede diseñar a criterio del usuario y puede incluir datos numéricos y un amplio abanico de gráficas de todos los parámetros que se desee. En nuestro caso obtuvimos los datos de los valores máximos de la prueba así como los de todo el transcurso de la misma promediados cada 15 segundos. Junto a estos datos numéricos se obtuvieron las gráficas de diversos parámetros (V_E , RER, $V_E \cdot VO_2^{-1}$, $V_E \cdot VCO_2^{-1}$, ...).(figura 9).

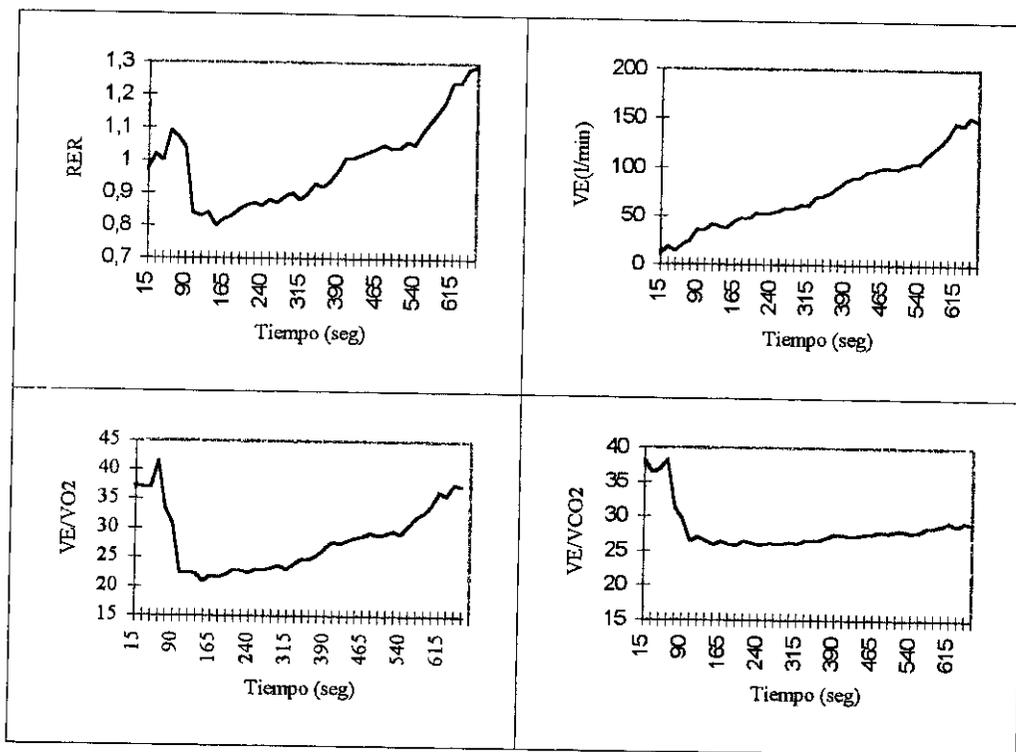


Figura 9 Test aeróbico

3.6.3.2.3. Toma de muestras de sangre capilar y umbral láctico

Se recogían 25 µl de sangre mediante una punción en el pulpejo del dedo. Se realizaba una toma de reposo y otra tras cada escalón (en un intervalo de unos treinta segundos), así como al finalizar la prueba. Las muestras se analizaban inmediatamente en un analizador automático electroenzimático (Yellow Springs 23L), cuyas especificaciones ya se han detallado en este capítulo.

El umbral láctico (UL) se calculó por el método del análisis de la representación gráfica del lactato sanguíneo frente a la carga de trabajo (velocidad o potencia en cicloergómetro). La mayor carga de trabajo a la cual no se producía una elevación en la concentración de lactato sanguíneo por encima de la línea de base se definía como la intensidad de trabajo asociada al umbral láctico₈₆. La gráfica era examinada de forma independiente por tres investigadores expertos que determinaban el punto del umbral láctico, si no coincidían los tres, se rechazaba el valor más discordante y se promediaban los otros dos. En las **figuras 10 y 11** se presentan algunos ejemplos de determinación del umbral láctico en distintos sujetos del estudio.

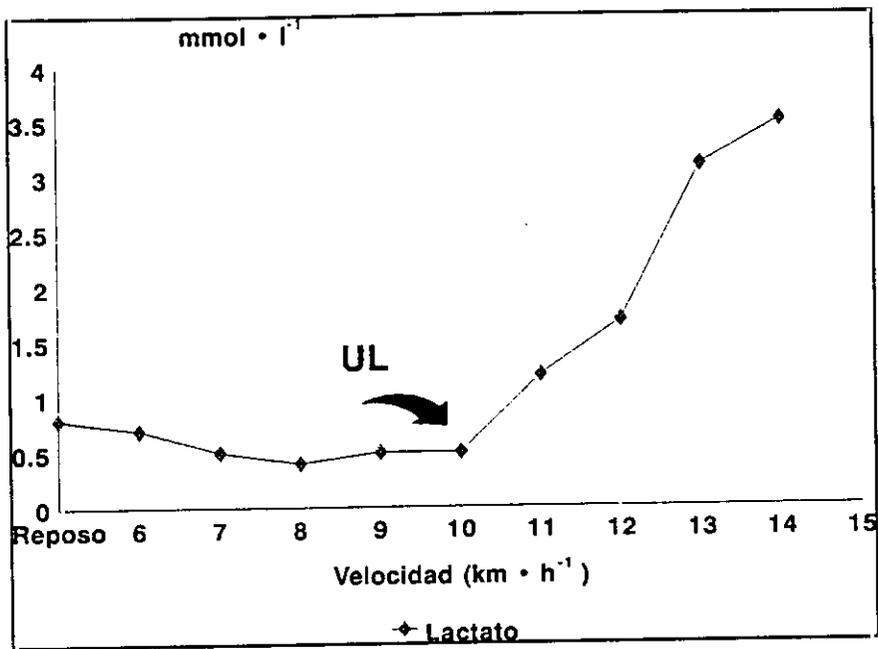


Figura 10: Umbral anaeróbico por determinación de lactato (ejemplo)(Según Álvarez ^{es})

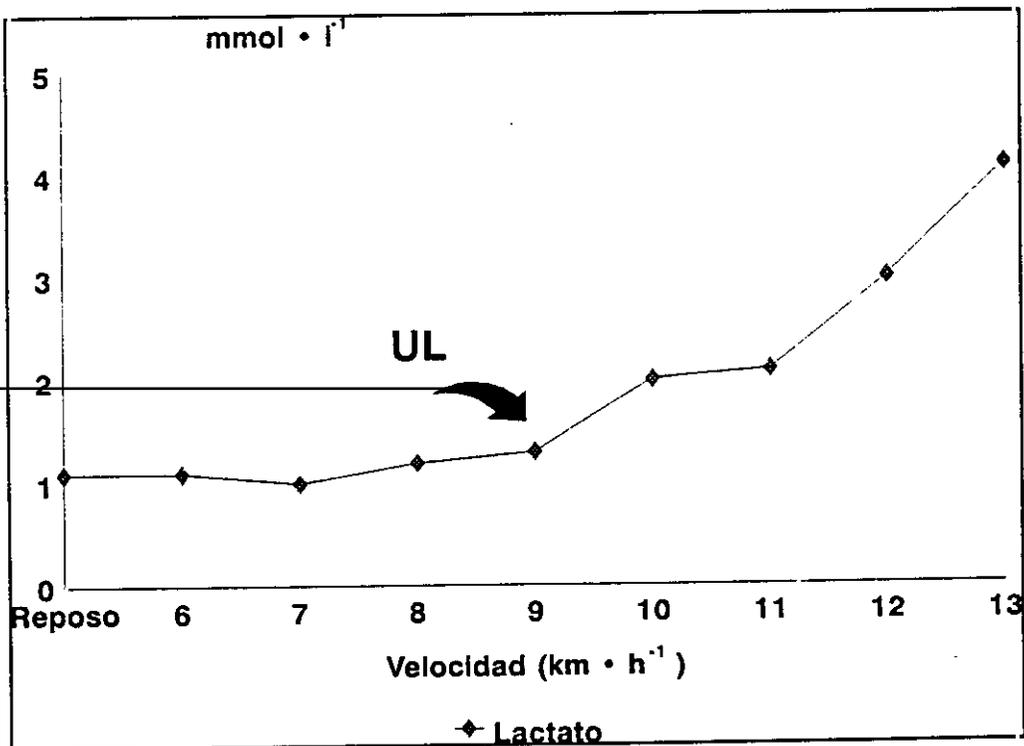


Figura 11: Umbral anaeróbico por determinación de lactato (2º ejemplo)(Según Álvarez ^{es})

3.6.3.3. Test de fuerza muscular

3.6.3.3.1 Protocolo

3.6.3.3.1.1. Dinamometría

Mediante la aplicación de un dinamómetro isométrico (**figuras 12, 13 y 14**) especializado podemos determinar la fuerza máxima realizada, conocido como "fuerza pico", expresado en newtons (N). Ambos parámetros se determinaron en:

- a. mano derecha
- b. mano izquierda
- c. piernas.
- d. espalda.

La fuerza isométrica ($F_{\text{máx}}$) es la fuerza máxima producida durante una contracción voluntaria máxima de tipo isométrico. Se expresa en newtons (N).

La contracción muscular de tipo isométrico que estamos estudiando ha de ser lo suficientemente larga como para que el sujeto cuya fuerza estamos evaluando alcance verdaderamente su fuerza máxima (F_{max}). Para este estudio determinamos $F_{\text{máx}}$ y fuerza media en tres segundos, sin embargo con objeto de resumir sólo describiremos las primeras cifras.

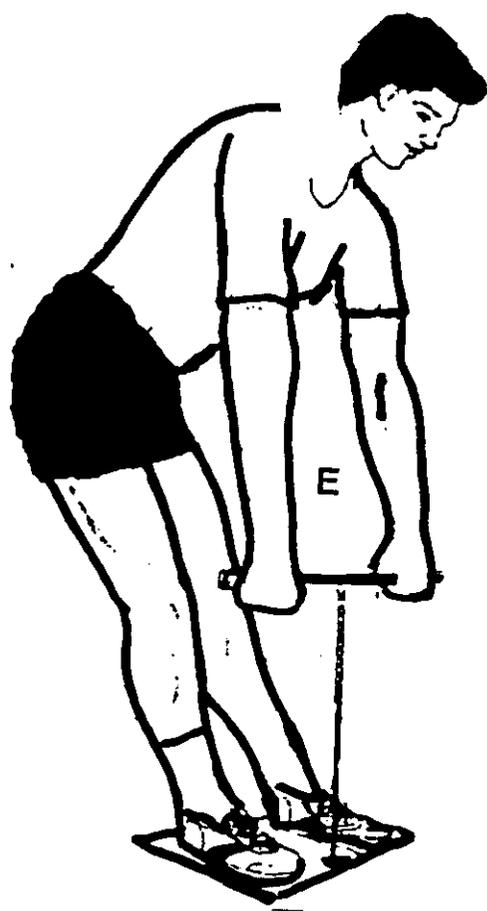


Figura 12: Determinación de Fuerza Isométrica de Espalda (E). Según Segovia²⁵¹

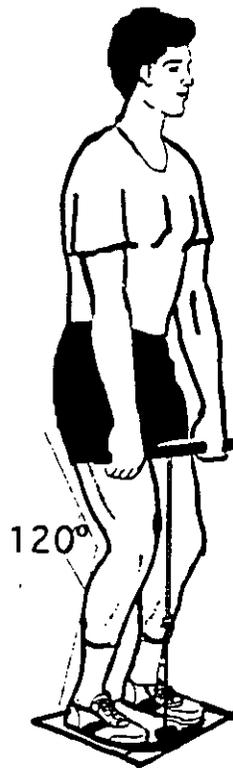


Figura 13: Determinación de Fuerza Isométrica de Piernas (P). Según Segovia²⁵¹



Figura 14: Determinación de Fuerza Isométrica de Manos. Según Segovia²⁵¹

3.6.3.3.1.2. Índice de fuerza

Se trata de un resumen de las fuerzas isométricas máximas individuales en función del peso del sujeto: fórmula de Moorehouse (1972)²⁵¹.

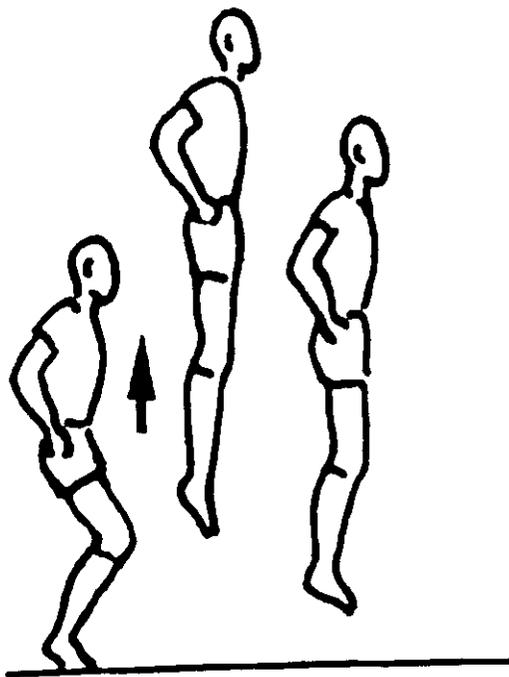
$$\text{I.F.} = \frac{\text{MD} + \text{MI} + \text{P} + \text{E}}{\text{Peso}}$$

MD: mano derecha, MI: mano izquierda, P: piernas; E: espalda

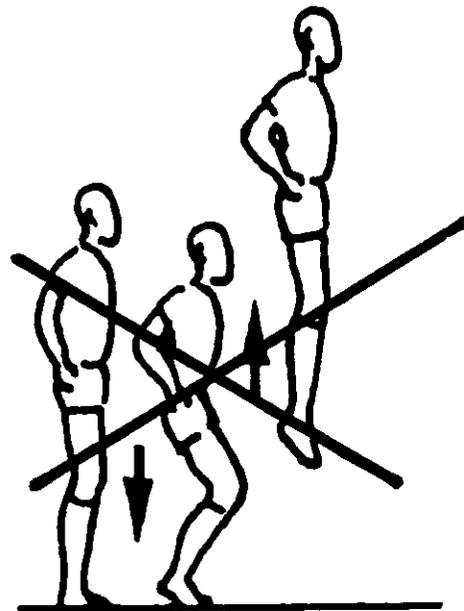
3.6.3.3.1.3. Test de salto vertical

Tiene un enorme interés como exponente de la "potencia muscular explosiva". Se lleva a cabo midiendo el tiempo de vuelo durante el salto, lo cual es un método mucho más preciso de conocer la altura a la que llegó que el método tradicional de medir la altura sobre pared²⁵² (**figura15**).

Se parte de 90° de flexión de la articulación de la rodilla. Normalmente, el sujeto ha de mantener ambas manos sobre las caderas para evitar en lo posible que los brazos contribuyan al impulso de salto (ésta es la posición más típica, ya que lo que se suele pretender estudiar específicamente con este test es la fuerza explosiva de los músculos extensores de la rodilla).



FORMA CORRECTA



FORMA INCORRECTA

Figura 15: Ejecución correcta e incorrecta del Test de salto vertical. Según Segovia y Belinchón²⁵,

3.6.3.3.1.4. 1-RM

1-RM: "Una repetición máxima". Es el mayor peso que puede ser levantado una vez en el rango de movimiento de una contracción concéntrica (**figura 16**). Se realiza con pesos libres, máquinas de pesas y con máquinas especialmente diseñadas para un deporte concreto. Los pesos libres y las máquinas de pesas son el método más usado para el entrenamiento de fuerza, por ello, los test realizados con el equipo con el que se entrena, son en parte, más sensibles al progreso del entrenamiento que otras sofisticadas máquinas de laboratorio sobre las que no es posible entrenar.

Es por ello por lo que decidimos aplicar el método en el "press de banca", sistema por otro lado, aplicado de rutina en la mayor parte de los estudios de nuestro Laboratorio de Fuerza.

Una repetición consta de dos fases: Contracción concéntrica y contracción excéntrica. El test 1RM se refiere únicamente a la fase concéntrica, expresada en kg, a pesar de ser esta cifra una expresión de masa, y quizá el newton sería más riguroso. Sin embargo se ha empleado la expresión de masa por ser ésta la más extendida.

La posición de partida del "press de banca" es con los ojos a la altura de la barra, de forma que al realizar el movimiento quede espacio entre los soportes y el recorrido de la barra de discos. Se podrá hacer con los codos separados del tronco (más específico para deportes de lanzamiento). El recorrido del movimiento tiene forma de S. Los halterófilos hacen el "press de banca" con los codos pegados al tronco. El

recorrido del movimiento es en forma de arco. De esta forma, el tríceps colabora con el pectoral y el deltoides de una forma más efectiva. No debe arquearse la columna lumbar, levantar la cadera del banco ni rebotar la barra contra el pecho.

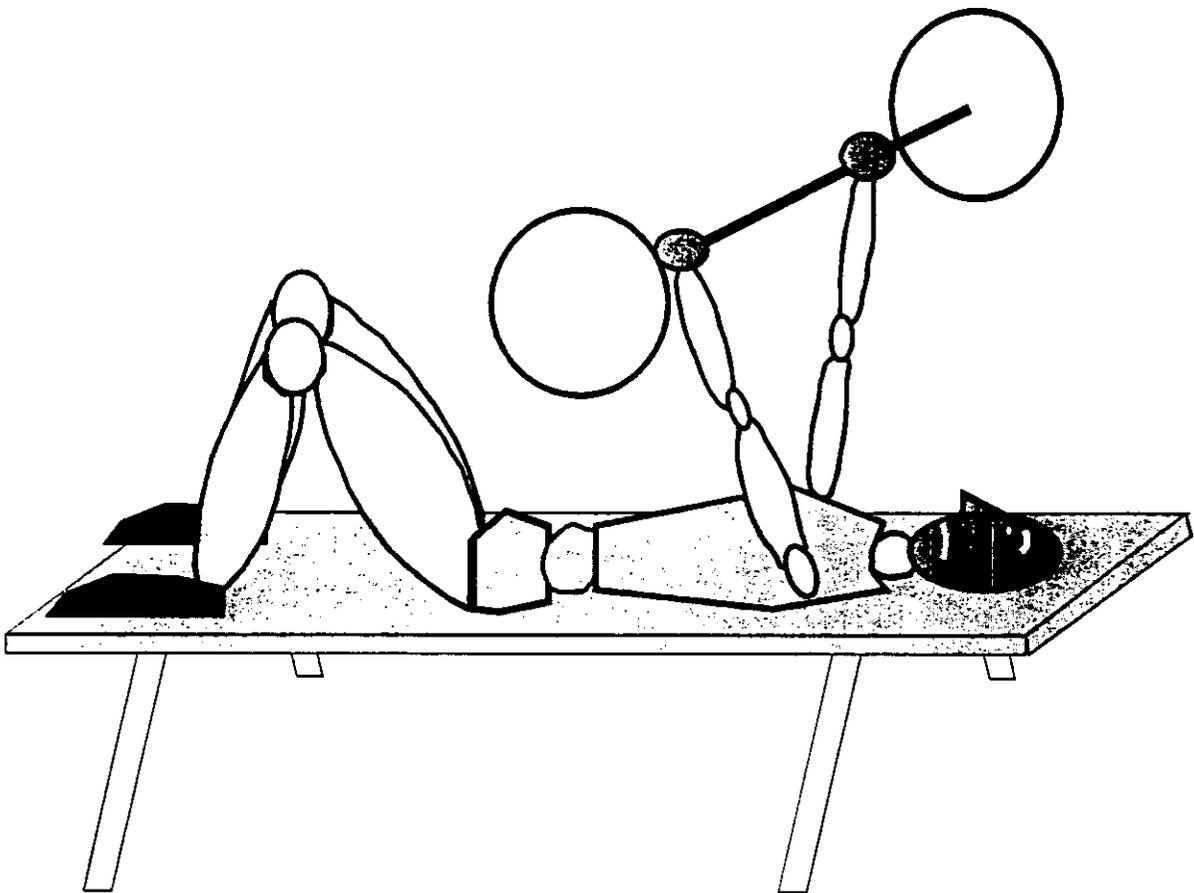


Figura 16: 1-RM

3.6.3.3.1.5. FLEXIBILIDAD DE LA COLUMNA VERTEBRAL

Si bien este parámetro no es un elemento de estudio de fuerza, por razones metodológicas preferimos citarlo aquí.

Se estudia la máxima flexibilidad de la columna vertebral en una hiperflexión anterior desde la posición de sentado: "Test del cajón" ("sit and reach"). Lo elegimos por la gran importancia que tiene la flexibilidad de la columna vertebral en los militares, y la amplia experiencia de este estudio en nuestro laboratorio.

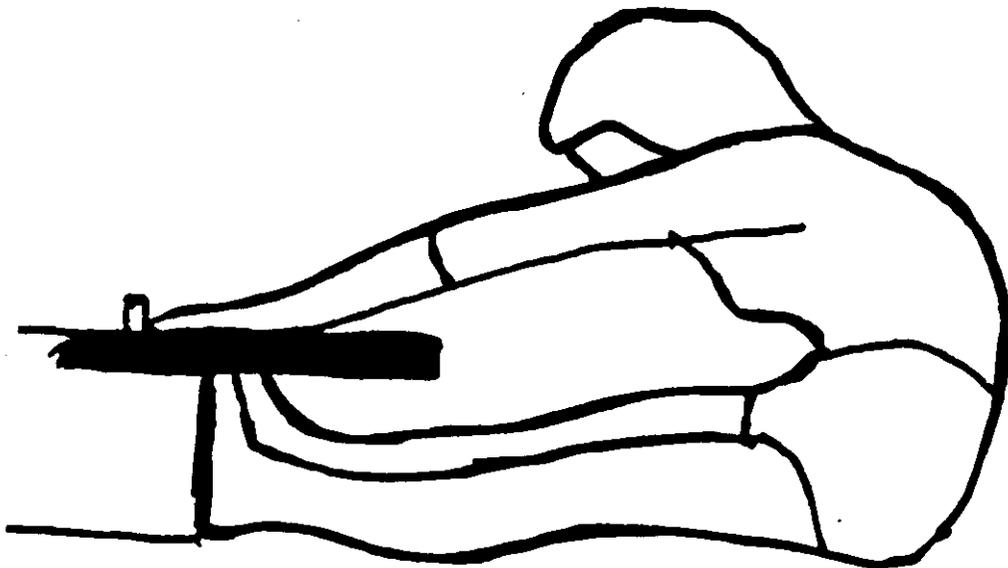


Figura 17: Test de flexibilidad de la columna vertebral del cajón. Según Segovia ²⁵¹

3.6.3.4. Test anaeróbico de Wingate

El test anaeróbico de Wingate (**figura 18**) se concibió en el Departamento de Investigación y Medicina del Deporte del Instituto Wingate de la Educación Física y el Deporte, de Israel^{253y254}. El test de Wingate se ha empleado en numerosos laboratorios, tanto para la evaluación de la capacidad anaeróbica, como ejercicio normalizado de apoyo al estudio de la respuesta al ejercicio supramáximo.

Desde la introducción de su prototipo en 1974, el test de Wingate se ha empleado en numerosos laboratorios, tanto para la evaluación de la capacidad anaeróbica, como ejercicio normalizado de apoyo al estudio de la respuesta al ejercicio supramáximo.

El test fué pensado para ser realizado sin necesidad de personal especializado, con un costo bajo, y aplicable con material de uso habitual en laboratorio, como es el cicloergómetro Monark, u otro aparato de características similares. Puede ser aplicado sobre la mayor parte de la población.

El ejercicio consiste en pedalear durante 30 segundos, a la máxima velocidad posible y contra una resistencia constante dada. Esta resistencia está previamente definida para producir una potencia mecánica supramáxima, equivalente a entre 2 y 4 veces la máxima capacidad aeróbica, e inducir una fatiga llamativa dentro de los primeros segundos (evidenciado por ejemplo con una disminución brusca de la fuerza mecánica).

- a. **Potencia pico:** Máximo valor de potencia mecánica observado durante el test, expresado en metros recorridos en períodos de 5 segundos.

- b. **Potencia media:** Los metros recorridos en los 30 segundos que dura la prueba dividido por 6, obteniendo por tanto metros recorridos en 5 segundos.

- c. **Índice de fatiga:** El gradiente de disminución de la potencia durante el test. Este índice se obtiene como porcentaje de la "Potencia-pico" también puede determinarse como el grado de pendiente entre A y B, siendo B el Punto de Mínima potencia.

La mayor parte de los estudios se han centrado en el análisis de la Potencia-pico (PP) y la potencia media (PM), siendo el índice de fatiga un elemento menos conocido.

En un principio se pensaba que la PP era un reflejo de los procesos anaeróbicos alácticos (fosfágenos), y la PM el indicativo de la glicolisis aneróbica muscular. Sin embargo, posteriormente se demostró que las cifras de lactato muscular se disparaban a los 10 segundos del test. Por consiguiente no es posible que PP sea un simple reflejo del proceso aláctico₂₅₁.

Protocolo:

1. Filiación, y anotar peso.
2. Ajustar el sillín a las dimensiones del sujeto, y seleccionar en la pantalla el modo "nº de vueltas".
3. Calentamiento:
 - Tiempo: 3 min.
 - 40 % de la carga ($0,075 \times \text{peso} \times 0,4$).
p.ej.: a 70 Kg. carga de: $70 \times 0,075 \times 0,4 = 5,25 \times 0,4 = 2,1 \text{ Kp.}$
 - Velocidad de carrera: 60 r.p.m.
 - Cada 30 segs., un "sprint" DE 5 SEGS.
4. Descanso pasivo:
 - Tiempo: 5 min.
 - Mientras tanto se le explica la técnica.
5. Test de Wingate propiamente dicho:
 - Tiempo: 30 segs.
 - Carga: $\text{Peso} \times 0,075$

Técnica: El sujeto sube en el cicloergómetro y comienza a pedalear, hasta que se llega a la carga preestablecida, momento en el cuál el director de la prueba señala

el inicio de ésta. El ayudante va anotando el número de vueltas: al comenzar la prueba, y cada 5 segs. que va cantando el que controla la carga agachado, que a su vez controla el tiempo.

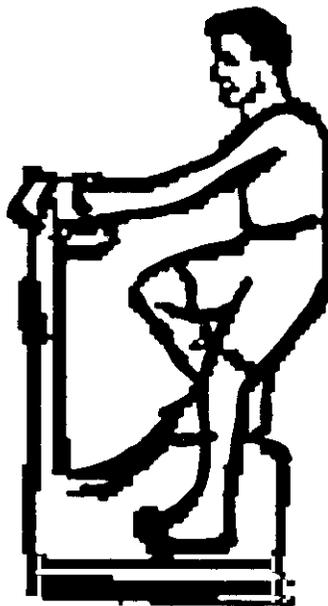


Figura 18: Test anaeróbico de Wingate. Según Segovia ²⁵¹

3.6.3.5. Antropometría

Por medio de la medida de los elementos que a continuación se expresan, y basándose en la amplísima experiencia que sobre ellos se tiene, nos permite conocer de una manera muy precisa, las modificaciones que el entrenamiento induce en la composición corporal: porcentaje muscular, porcentaje graso, porcentaje óseo, etcétera, así como indicar el tipo de actividad física más acorde para cada sujeto.

VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS

1. Peso
2. Talla
3. Diámetro biepicondíleo humeral
4. Diámetro biepicondíleo femoral
5. Diámetro biestiloideo radial
6. Perímetro brazo contraído
7. Perímetro máximo pierna
8. Pliegue tríceps
9. Pliegue subescapular
10. Pliegue suprailíaco
11. Pliegue abdominal
12. Pliegue anterior muslo
13. Pliegue medial pierna

Para la práctica de la valoración morfológica que nos planteamos, se empleó el material que se relaciona a continuación:

1. Estadiómetro o tallímetro convencional con cremallera (Holtain Limited, Crymych, Reino Unido), con plano triangular de Broca para la cabeza, cuyo rango de medida abarca desde 63 hasta 213 cm, con un error de medida de $\pm 0,1$ mm.
2. Báscula marca DETECTO (Lafayette Instruments Company, Lafayette, Indiana, USA), cuyo intervalo de medición se sitúa entre 0,0 y 150,0 kg, y su precisión es de 200 g. Se realizaron tanto un ajuste a cero a cada medición, como calibraciones periódicas.
3. Calibrador de diámetros (antropómetro) (Holtain Limited, Crymych, Reino Unido). Con intervalo de medida de 1 mm.
4. Cinta antropométrica. (Holtain Limited, Crymych, Reino Unido). Con intervalo de medida de 1 mm.
5. Calibrador de pliegues cutáneos (lipómetro) (Holtain Limited, Crymych, Reino Unido). Con intervalo de medida de 0,2 mm.
6. Lápiz marcador o demográfico.
7. Formulario de recogida de datos.

Todos ellos se ajustan a las normas de fabricación, mantenimiento y calibración que proponen las sociedades científicas de cineantropometría.

METODOLOGÍA:

El lugar era agradable para el individuo y para el medidor, manteniendo un ambiente tranquilo y una temperatura agradable. Los datos de filiación del sujeto se recogieron en la ficha de la **figura 19** con las medidas antropométricas:

P.O.E.F.A.
Ministerio de Defensa (Consejo Sup. Ed. Física y D. de las FAS)
Univ. Complutense (Esc. Med. Ed. Física y Deporte)

DIRECCIÓN TÉCNICA:
Servicio Médico del Ministerio de Defensa
Pº Castellana, 109, 28046 MADRID
Tlfo : 5555000 ext 2315 ó 3177 Fax: 5563958

ANTROPOMETRÍA

Nº Hª: _____ FECHA: _____
APELLIDOS: _____
NOMBRE: _____ D.N.I.: _____
UNIDAD DE DESTINO: _____

PESO: _____ TALLA: _____
DIÁMETRO BIEPIDONDÍLEO HUMERAL: _____
DIÁMETRO BIEPICONDÍLEO FEMORAL: _____
DIÁMETRO BIESTILOIDEO RADIAL: _____
PERÍMETRO BRAZO CONTRAÍDO: _____
PERÍMETRO MÁXIMO PIERNA: _____
PLIEGUE TRÍCEPS: 11
PLIEGUE SUBESCAPULAR: 11
PLIEGUE SUPRAILÍACO: 11
PLIEGUE ABDOMINAL: 11
PLIEGUE ANTERIOR MUSLO: 11
PLIEGUE MEDIAL PIERNA: 11

Figura 19: Ficha de Antropometría

El sujeto estaba descalzo y con la menor ropa posible (desnudo, traje de baño o pantalón corto). Se explicaba al deportista el objetivo del estudio y la importancia de mantener las posturas que se le indicaron. Antes de iniciar las mediciones se procedía a marcar los puntos anatómicos con el lápiz demográfico destinado a tal fin. Todos fueron marcados en el lado derecho y considerando al individuo en posición anatómica, excepto en el caso de los zurdos. La toma de medidas, se realizará de acuerdo al método elegido. La recogida de datos se efectuaba entre dos personas. Uno medía, transmitiendo el resultado de la medición y otro anotaba los resultados en el formulario correspondiente.

Todas las medidas son realizadas y registradas tres veces. Se calculó el valor medio como resultado final salvo en los perímetros máximos en los que se escogió el valor máximo.

MARCAS Y PUNTOS ANATÓMICOS:

Como el cuerpo puede asumir varias posiciones, la descripción antropométrica se realiza siempre en relación a la posición anatómica estándar, es decir: cuerpo de pie erecto, cabeza y mirada dirigida al frente, miembros superiores suspendidos a lo largo del tronco, manos extendidas con las palmas hacia el observador (adelante), dedos apuntando hacia abajo salvo los pulgares que apuntan hacia afuera, pies juntos con los dedos dirigidos al frente.

El plano de Frankfort se consigue cuando la línea imaginaria que une el punto orbital y el tragión está paralela a la base o suelo, y por tanto perpendicular al eje axial longitudinal del individuo (figura 20).

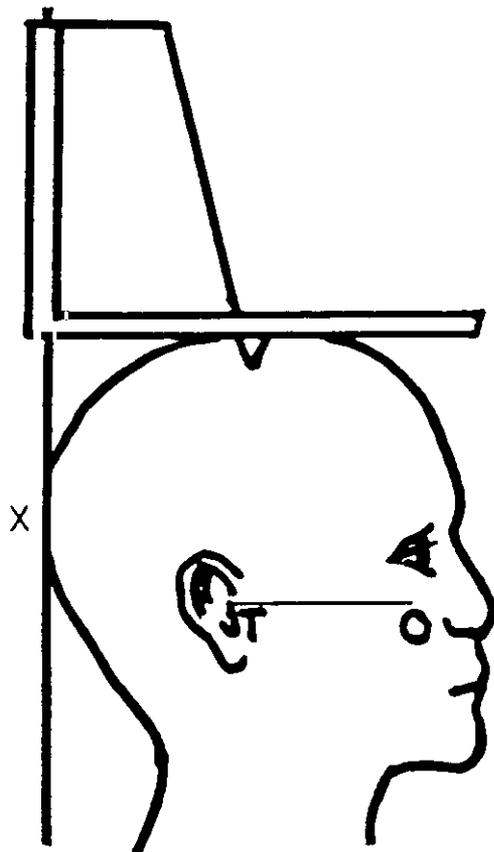


Figura 20: Plano de Frankfort. Según Segovia ²⁵¹

Las marcas definidas a continuación son las que utilizamos:

- a. **Omphalion o umbilical:** coincide con el punto medio de la cicatriz umbilical.
- b. **Acromial:** punto más superior y externo del acromión cuando el sujeto se encuentre en posición anatómica con los brazos relajados a lo largo del cuerpo. Para localizarlo se palpa el proceso espinoso del omóplato y externamente se busca el acromión. Una vez localizado el acromión se busca el punto más lateral del borde superior. Para ello se aplica presión con el lápiz demográfico en la parte externa del acromión. Luego se retira se marca y se comprueba una vez marcado.
- c. **Radial:** es el punto superior y lateral de la cabeza del radio. Para su localización se palpará con los dedos índice o pulgar izquierdo en superficie posterior y lateral del codo, localizando la interlínea articular y la cabeza del radio. Se pide al sujeto que realice pronación y supinación del antebrazo con lo que percibiremos un movimiento de rotación de la cabeza del radio. Se marca y se comprueba una vez marcado.
- d. **Estiloideo o apophyse styloide:** punto más distal de la apófisis estiloidea radial. Localizado en la tabaquera anatómica. La tabaquera

anatómica es el área triangular formada al extender el pulgar, y delimitada lateralmente por los tendones de los músculos abductor largo del pulgar y del extenso corto del pulgar, y medialmente por el extenso largo del pulgar. El antropometrista coloca la uña de su pulgar izquierdo o de su dedo índice en el espacio delimitado. El punto se localiza perfectamente cuando movemos lateralmente la mano del sujeto hacia un lado y hacia otro. Luego se marca. La estiloides cubital se localiza en la zona postero-medial de la muñeca.

- e. **Ilioespinal:** este punto representa la superficie de la espina iliaca anterosuperior, y no el reborde más sobresaliente en el plano frontal. Situado en el extremo inferior y final de esta espina iliaca anterosuperior. Para localizar este punto, el sujeto apoyado sobre la pierna izquierda, eleva la pierna derecha con una ligera rotación externa del fémur. El antropometrista trata de localizar la espina iliaca citada, la cual será más fácilmente identificable cuando el sujeto realice un movimiento del muslo, pues el músculo que se inserta en dicha espina, se tensa en esta maniobra.
- f. **Maleolar tibial, maleolar medial interno o sphyrion:** es el punto más distal del maléolo tibial, y nunca el más medial. Su localización resulta más sencilla desde abajo hacia arriba y dorsalmente.

- g. Maleolar peroneal, maleolar lateral externo o sphyrion fibulare:** es el punto más distal del maléolo peroneo, resultando más distal que el maleolar tibial. Su localización es similar a la del punto anterior.

PARÁMETROS O MEDIDAS

- a. Estatura:** distancia desde el vértex a la base del individuo expresada en centímetros con precisión de 0,1 cm. La medición se realiza con el estadiómetro, (**figura 21**) aunque el aparato utilizado no es esencial si reúne las características descritas (plano horizontal, contador numérico o escala en cms.). La técnica requiere una posición del sujeto, descalzo, erecto, talones juntos, brazos extendidos, talones, nalgas y cabeza (no necesario) en contacto con el muro, cabeza en plano de Frankfort mirada hacia delante, final de una inspiración profunda, y con tracción hacia arriba (efectuado por el cineantropometrista) sobre el maxilar inferior o sobre la mastoides.



Figura 21: Técnica de Medición de la Altura. Según Segovia²⁵¹

- b. **Peso corporal:** Aunque las condiciones ideales para pesar al sujeto se han descrito pormenorizadamente (ayunas, tras defecación, mañanas), los sujetos fueron pesados en el momento del reconocimiento, coincidiendo con la exploración general (**figura 22**). Se efectuó con el mínimo de ropa posible (calzón corto, sin calzado) y se expresó en kilogramos con precisión de 0,1 kg.

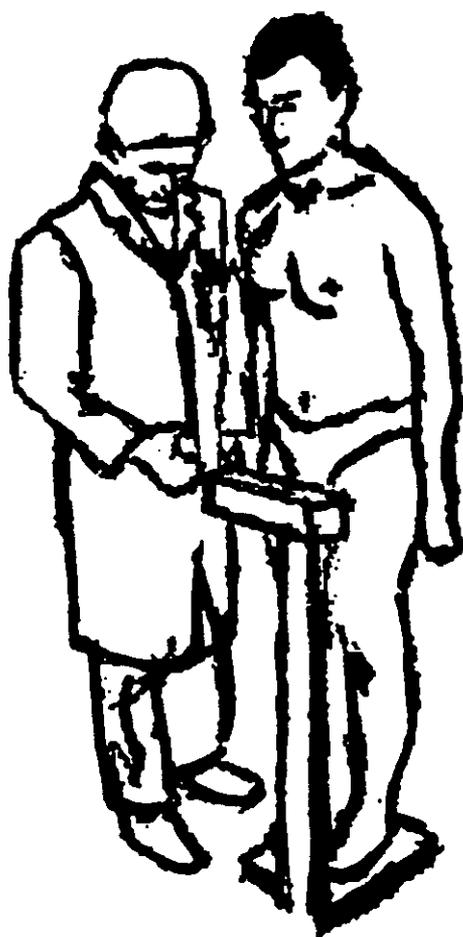


Figura 22: Determinación del Peso Corporal. Según Segovia²⁵¹

- c. **Diámetro bicondíleo o biepicondíleo humeral:** (Figura 23) es la distancia entre los puntos más laterales del epicóndilo (ext) y epitróclea (int) del húmero. La posición del sujeto es con el brazo horizontal al suelo y el antebrazo flexionado sobre el brazo formando un ángulo de 90 grados. La técnica correcta se basa en abordar al sujeto anteriormente, palpar con los dedos medios los puntos anatómicos (previamente marcados) y aplicar con firmeza las ramas del calibre. Las ramas del paquímetro o calibre se dirigen hacia la prolongación de la bisectriz del ángulo que forman brazo y antebrazo. La medida es algo oblicua teniendo en cuenta que la epitróclea está en un plano inferior al epicóndilo. El antropometrista intentará mantener la horizontalidad.

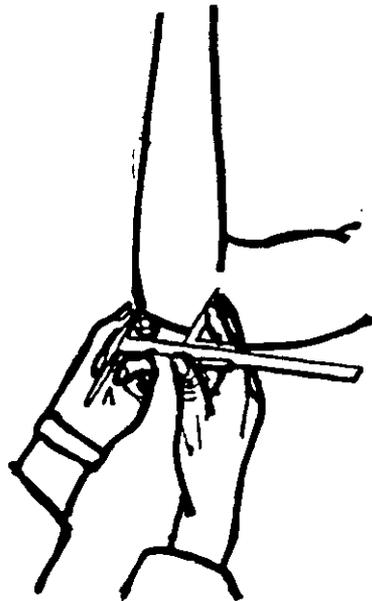


Figura 23: Diámetro epicondíleo humeral. Según Segovia ²⁵¹

- d. **Díámetro biestiloideo de la muñeca:** (Figura 24) es la distancia entre los aspectos más laterales de la apófisis estilóidea de cúbito y apófisis distal del radio. La posición del sujeto será sentada con el antebrazo en pronación sobre el muslo y la muñeca flexionada formando ángulo de 90 grados con el antebrazo. La técnica se basa en abordar al sujeto anteriormente, aplicar los brazos del antropómetro o paquímetro sobre los puntos previamente marcados, manteniendo las ramas del antropómetro en la prolongación de la bisectriz del ángulo descrito.

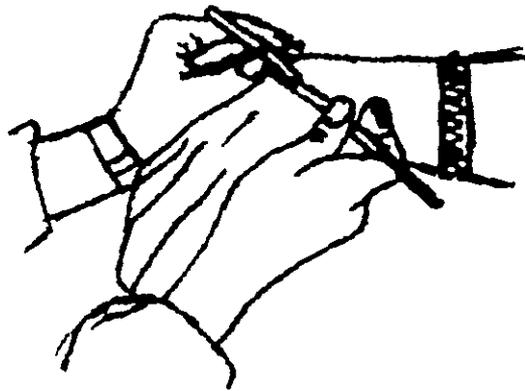


Figura 24: Díámetro biestiloideo de la muñeca. Según Segovia²⁵¹

- e. **Diámetro bicondíleo femoral:** (Figura 25) es la distancia entre los aspectos más laterales de los cóndilos lateral y medial del fémur. La posición de sentado con la articulación de la rodilla en ángulo de 90 grados. La técnica se basa en abordar al sujeto por delante, palpar con los dedos medios los puntos anatómicos y aplicar las ramas del calibrador óseo en los puntos citados. Las ramas del calibrador mantienen una posición que equivale a la prolongación de la bisectriz del ángulo de la rodilla.

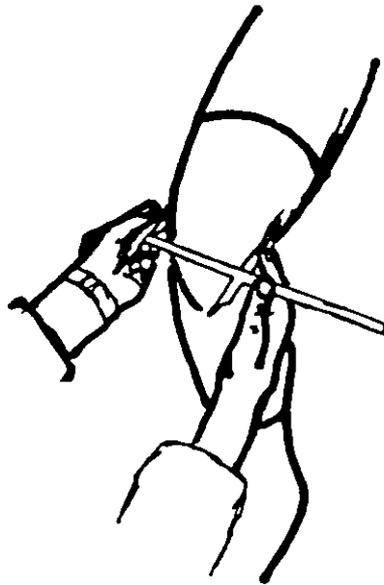


Figura 25:Diámetro bicondíleo femoral. Según Segovia ²⁵¹

- f. **Perímetro de brazo flexionado y contraído:** (Figura 26) medida a nivel de la máxima circunferencia del brazo. El sujeto mantiene una posición con el antebrazo flexionado sobre el brazo, que se abduce hasta la horizontal y con la mano cerrada para ejercer la máxima contracción. La técnica se basa en abordar desde la derecha al sujeto, colocar la cinta antropométrica en el brazo a nivel de la máxima circunferencia (tanteada previamente) y con el sujeto en la posición indicada. Inicialmente se hace una medición preliminar que orienta al cineantropometrista sobre la zona de máxima circunferencia. Posteriormente se le animará para "sacar bola" y se medirá definitivamente.

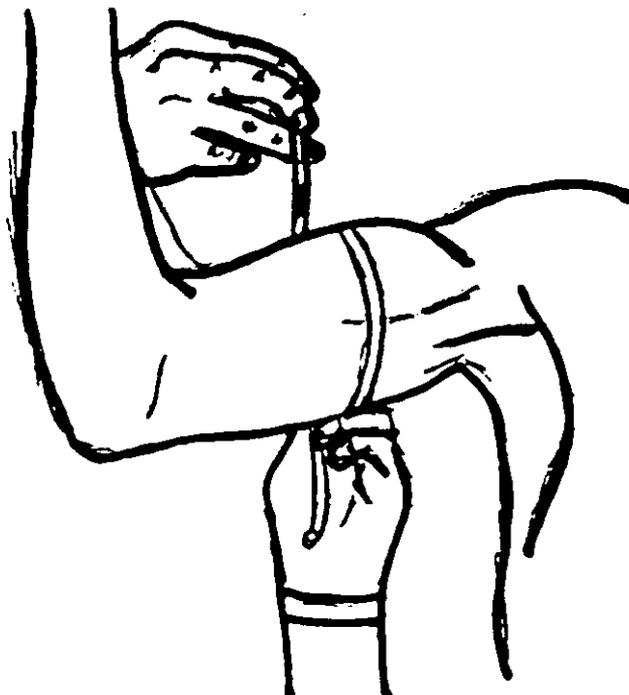


Figura 26: Perímetro del brazo flexionado y contraído. Según Segovia ²⁵¹

- g. Perímetro de la pierna / pantorrilla: (Figura 27)** es la máxima medida obtenida por tanteo en la pierna. La posición del sujeto es de pie, con las piernas ligeramente separadas a la altura de los hombros y distribuyendo el peso corporal equitativamente sobre ambas piernas. La técnica del tanteo obliga a medir varias veces hasta obtener el máximo valor.

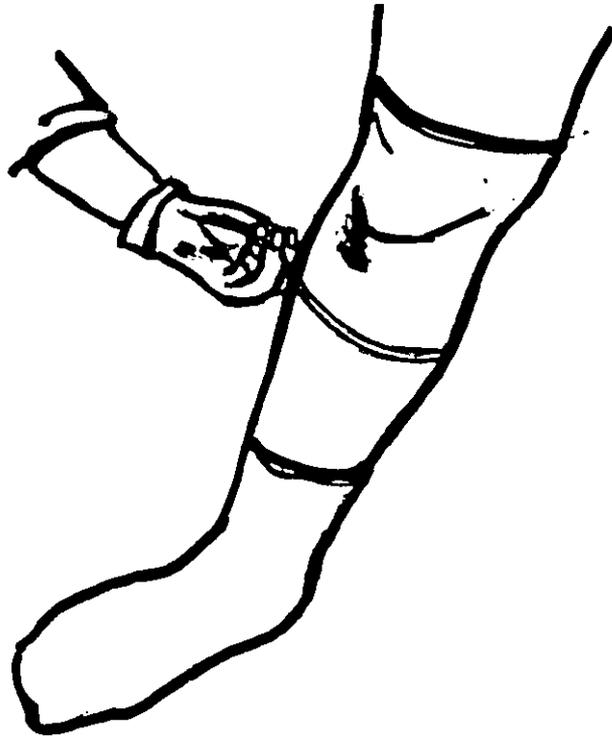


Figura 27: Perímetro de la pierna. Según Segovia ²⁵¹

- h. Pliegues cutáneos:** Se denomina pliegue cutáneo a la cantidad de tejido adiposo subcutáneo, determinado a través de la piel, expresado en milímetros, y medido con una instrumentación y un método estandarizado. Los instrumentos están diseñados para proporcionar una presión constante de 10 gramos/mm². Disponen de una esfera calibrada con incrementos de 0.2 mm. y puede ser leído por interpolación con aproximación de 0.1 mm. El calibrador se aplica en el lugar indicado para obtener un pliegue cutáneo que consta de una doble capa de piel y la correspondiente capa de tejido adiposo excluyendo el músculo. En caso de duda se le solicitaba al sujeto que contragese la musculatura de la zona cuando ya hemos pellizcado el pliegue. A continuación se liberaba el pliegue y se volvía a pellizcar. El pellizco se tomaba en el lugar definido para ello, y el calibrador se aplicaba perpendicular al pliegue y a 1 cm. del pellizco. La lectura en la esfera se realizaba después de haber permitido una presión completa de las ramas del instrumento, lo que se consigue en 2 s tras la liberación del gatillo del aparato. Una carencia o exceso de tiempo dan lugar a modificaciones en los resultados como consecuencia de la compresibilidad del tejido. En individuos obesos en los que la aguja oscilaba de forma importante, se realizaba una presión firme con los dedos índice y pulgar sobre el pellizco. Todos los pliegues son tomados, al igual que el resto de las

medidas antropométricas en el lado derecho del sujeto, excepto si no es el lado dominante.

- h.1. Pliegue Tricipital: (Figura 28)** pliegue vertical y paralelo al eje axial del brazo, tomado en la parte posterior del brazo a nivel de la distancia media acromio-radial.



Figura 28: Pliegue tricipital. Según Segovia ²⁵¹

- h.2. Pliegue Subescapular:** (Figura 29) pliegue oblicuo (45 grados de la línea horizontal), tomado en el dorso a nivel del ángulo inferior de la escápula.

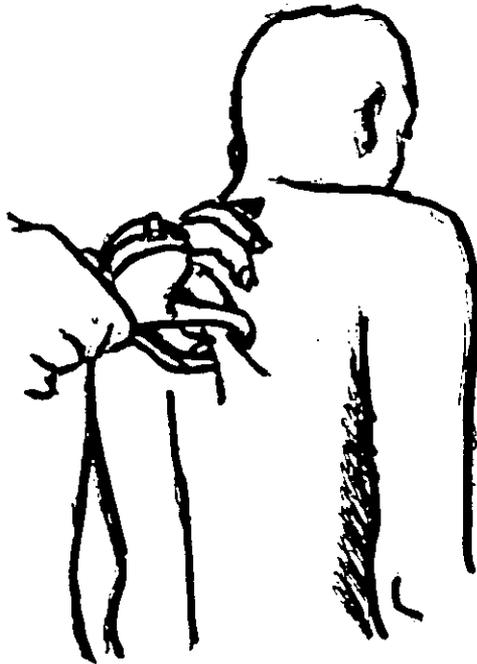


Figura 29: Pliegue Subescapular. Según Segovia ²⁵¹

- h.3. Pliegue Supraespinal:** (Figura 30) (antiguamente llamado por Heath-Carter suprailiaco) es un pliegue oblicuo que sigue las líneas normales de la piel (45 grados de la horizontal), tomado en la parte anterior del abdomen desde la línea axilar anterior hacia abajo y a 7 cms. por encima de la espina iliaca anterosuperior.



Figura 30: Pliegue Supraespinal. Según Segovia²⁵¹

- h.4. Pliegue Abdominal:** (Figura 31) pliegue vertical, tomado en la parte anterior del abdomen a nivel de la marca umbilical pero desplazándose 5 cms. hacia el lado derecho.

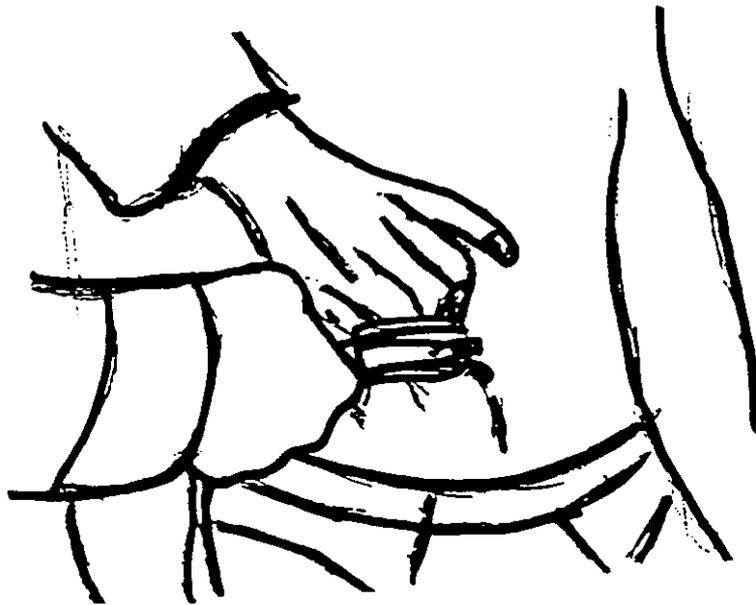


Figura 31: Pliegue Abdominal. Según Segovia ²⁵¹

h.5. Pliegue Muslo anterior: (Figura 32) pliegue longitudinal y paralelo al eje axial de la pierna, tomado en la parte anterior del muslo a nivel de la distancia media entre la rótula y el pliegue inguinal. La posición del sujeto es correcta cuando mantiene su extremidad inferior con flexión de 90 grados a nivel de la rodilla. Para ello puede permanecer sentado o apoyando el pie en un taburete o cajón de la altura adecuada.



Figura 32: Pliegue Muslo anterior. Según Segovia ²⁵¹

- h.6. Pliegue Medial de la pierna:** (Figura 33) pliegue vertical y paralelo al eje de axial de la pierna, tomado en el borde medial o interno de la pierna a nivel de su máxima circunferencia. El sujeto debe mantener una posición facilitadora con la pierna flexionada 90 grados y el pie apoyado en un taburète o cajón de altura adecuada.



Figura 33: Pliegue Medial de la pierna. Según Segovia ²⁵¹

ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL:

Hemos elegido el procedimiento de Rose y Guimaraes₂₅₁ de principios de los años 80, que utilizando datos anatómicos calcula a través de ecuaciones de regresión la distribución del peso en los cuatro compartimentos. Estos cálculos se efectuaron con el programa del Centro de Evaluación Médico Deportivo de la Universidad Complutense de Madrid.

- a. **Peso graso:** Utiliza la ecuación de Faulkner, que se deriva a su vez de la de Yuhasz (1962)₂₅₁, que incluye un sumatorio de pliegues cutáneos:

$$\begin{aligned} \% \text{ GRASO} &= (\text{tricip} + \text{subesc} + \text{supraesp} + \text{abd}) \times 0,153 + 5,783 \\ \text{P. GRASO} &= \% \text{ GRASO} \times \text{P. TOTAL} \end{aligned}$$

Los pliegues se expresan en milímetros.

- b. **Peso óseo:** Utiliza la ecuación de Von Döbeln, modificada por Rocha (1974)₂₅₁, que incluye la estatura y dos diámetros óseos:

$$\text{P. ÓSEO} = 3,02 \times (\text{talla}^2 \times \text{d. Bistiloideo} \times \text{d. bicondíleo femoral} \times 400)^{0,712}$$

La estatura y los diámetros se expresan en metros.

- c. **Peso residual:** Se calcula mediante las constantes propuestas por Wurch (1974)₂₅₁, e incluye órganos, líquidos, etc.

P. RESIDUAL VARONES = 24,1% DEL PESO TOTAL
P. RESIDUAL HEMBRAS = 20,9% DEL PESO TOTAL

- d. **Peso muscular:** Se deduce de la propuesta básica de Mantiegka₂₅₁

P. MUSCULAR = P. TOTAL - (P. GRASO + P. ÓSEO + P. RESIDUAL)

3.6.3.6. Analítica de sangre y orina

Extracción de sangre en ayunas, y recogida de muestras de orina, de la primera micción de la mañana. Se procedió a las siguientes determinaciones:

BIOQUÍMICA:

- LDH
- GOT
- GPT
- GGT
- Ácido úrico
- Glucosa
- Urea
- Colesterol
- HDL - colesterol
- Triglicéridos
- Hierro
- Bilirrubina
- LDL - colesterol
- Creatinina
- Creatínfosfoquinasa

HEMATOLOGÍA:

- Leucocitos
- Hematíes
- Hemoglobina
- Hematocrito
- Volumen Corpuscular Medio
- Hemoglobina Corpuscular Media
- Concentración de Hemogl. Corp. Media
- Plaquetas
- RDW - SD
- RDW - CV
- Volumen plaquetario medio.
- Fórmula leucocitaria relativa
- Fórmula leucocitaria absoluta

ORINA:

- Leucocitos
- Nitritos
- pH
- Proteínas
- Glucosa
- Cuerpos cetónicos
- Urobilinógeno
- Bilirrubina
- Hemoglobina
- Densidad
- Sedimento

3.6.3.7. Espirometría

Nos permite conocer las características fisiológicas de la ventilación en condiciones de reposo. Los parámetros que se han estudiado son:

- a. **FVC: Capacidad Vital Forzada.**
- b. **FEV₁: Volumen Espiratorio Máximo Forzado durante el primer segundo,** obtenido a partir de la capacidad vital forzada. Es el volumen pulmonar dinámico que más correctamente informa sobre el estado de las vías periféricas (< 2 mm. de diámetro) y centrales (>2 mm. de diámetro), al reflejar la velocidad de paso del aire por aquellas durante el primer segundo de la espiración. Si a ello añadimos su escasa variabilidad (3 %), y su facilidad de obtención, se comprenderá por qué es recomendable su determinación en cualquier valoración respiratoria.
- c. **FEV x 100 / FVC: Cociente de Volumen Espiratorio Máximo Forzado en un segundo, expresado en tanto por ciento.**
- d. **PEF: Flujo Máximo instantáneo en "pico",** obtenido durante los diez primeros milisegundos de la espiración forzada.

3.6.3.8. Test de campo

Con objeto de contrastar los estudios practicados en el Laboratorio sobre los parámetros fisiológicos era preciso diseñar un Test de Campo que se adecuase a las peculiaridades de la actividad física desarrollada en este tipo de Unidades, y que en definitiva viene a emular los ejercicios que se efectúan durante una acción de combate.

Para el diseño de este Test contamos con la colaboración de los Mandos de Unidad, que aprovechando su gran experiencia sobre el terreno contribuyeron decisivamente a lograr los fines perseguidos.

El personal realiza el recorrido dotado con un telémetro tipo POLAR, que graba el comportamiento cardiovascular del sujeto durante la prueba, información que mas tarde es procesada por un ordenador, pudiendo ser expresado en forma gráfica.

También se realizan determinaciones de lactato al comenzar y finalizar la prueba.

TEST DE CAMPO (DESCRIPCIÓN DE LOS OBSTÁCULOS)

1. (0000 M.) CARRERA CONTÍNUA: 850 M.
2. (0000 M.) SALTO DE VALLA: altura 1 m.
3. (0030 M.) GALLINERO
4. (0045 M.) EQUILIBRIO ALTO
5. (0060 M.) GATEAR: 15 m., altura 1 m.
6. (0085 M.) ESCALA HORIZONTAL: apoyo en travesaños.
7. (0105 M.) BIDONES
8. (0125 M.) GALLINERO INVERTIDO
9. (0140 M.) LANZAMIENTO DE PESO: mínimo 6 m.
- 10.(0165 M.) EQUILIBRIO BAJO
- 11.(0180 M.) BARRAS VERTICALES
- 12.(0190 M.) FOSO: sin agua.
- 13.(0200 M.) OBSTÁCULO RODAR
- 14.(0220 M.) RAMPA RUEDAS
- 15.(0270 M.) PEQUEÑO FOSO
- 16.(0300 M.) VENTANA "A": la de la derecha según el recorrido.
- 17.(0315 M.) TREPA: cuerda con nudos cada 30 cm., y último nudo a 3 m. de altura.
- 18.(0330 M.) VENTANA "B"

19.(0360 M.) RED

20.(0410 M.) OBSTÁCULO VERTICAL: hasta el 5º palo. Poniendo el suelo a 1 m. del primer palo (con sacos terreros, cajas,...).

21.(0430 M.) RAMPA MADERA: relleno de sacos para protección.

22.(0450 M.) TRAVESAÑOS ELEVADOS

23.(0470 M.) TABLA FINLANDESA: poniendo el suelo a 1,5 m del borde superior (con sacos terreros,...).

24.(0495 M.) "TARZÁN"

25.(0520 M.) OBSTÁCULO RODAR

26.(0530 M.) PARALELAS

27.(0550 M.) MURO MADERA

28.(0560 M.) RAMPA MADERA

29.(0570 M.) REPTAR: 10 m., altura 50 cm.

30.(0650 M.) TALUD FINAL: junto Furrilería UPLM.

Recorrido CARRERA CONTÍNUA: 850 m.

Recorrido PISTA: 650 m.

TOTAL TEST DE CAMPO: 1500 m.

REGLAMENTACIÓN DEL TEST DE CAMPO

1.- El Test de Campo "P.O.E.F.A. I", que se realizará el día que se cita, se ejecutará por el personal designado, con ropa deportiva (chandall reglamentario y zapatillas).

2.- El objetivo del ejercicio consiste en realizar el recorrido de 1500 m. en el menor tiempo posible y salvando todos los obstáculos, para lo que estará convenientemente balizado el mismo.

3.- Se harán salidas cronometradas cada 5 minutos, tomando muestras de sangre, para la determinación de lactato, antes y después de finalizar la prueba.

4.- Cada uno de los componentes llevará un telémetro en su muñeca con objeto de monitorizar el comportamiento cardiocirculatorio.

5.- El Servicio Médico del G.O.E. I se encargará de cubrir la asistencia sanitaria en caso de accidente.

REGLAS DE PUNTUACIÓN:

A. Se penalizará con el 6 % del tiempo total del propio participante, a aquél que no supere un obstáculo sin intentarlo.

B. Se penalizará con el 3 % del tiempo total del propio participante, a aquél que no supere un obstáculo después de intentarlo dos veces.

C. No se podrá intentar la superación de un obstáculo más de dos veces.

D. El juez árbitro podrá penalizar a los participantes, en caso necesario, con la fracción de tiempo que estime conveniente.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se diseñó una matriz para introducir los datos en un fichero de formato SPSS. Con este programa se llevaron a cabo todos los cálculos estadísticos. Los resultados se expresan en todo momento como media desviación estándar (DE). Para todo el análisis estadístico se fijó un nivel de confianza del 95%.

Se comprobó que la distribución de frecuencias de las variables estudiadas se ajustaba a una curva normal mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov y Smirnov.

Se calcularon los habituales estadígrafos de tendencia central y dispersión: la media, y la desviación estándar (DE).

Se realizaron estudios descriptivos de los datos biométricos (edad, peso y talla), así como de los valores de consumo máximo de oxígeno, de la población general y de cada uno de los grupos.

RESULTADOS

4.1. GRUPO DE SUJETOS

El grupo de estudio consistió en 72 varones sanos, finalizando la investigación un total de 62. Como se hace constar en el apartado correspondiente a "El Grupo de Estudio" (3.1.1.) de Material y Métodos, dos de los sujetos tuvieron que ser retirados en las primeras fases de la investigación, debido uno de ellos a un síndrome compartimental agudo, y el otro fue trasladado de Unidad con carácter urgente.

4.2. PARÁMETROS BIOMÉTRICOS

4.2.1. Edad de los sujetos

La edad de los sujetos objeto del estudio era de 21 ± 2 años (**tabla 6**), propia del personal de tropa cuando realiza el Servicio Militar Obligatorio.

4.2.2. Peso de los sujetos

El peso de los sujetos antes de realizar el programa de entrenamiento era de $70,58 \pm 8,05$ kg (**tabla 6**). Después del mismo era de $71,24 \pm 6,87$ kg. Esta modificación no es estadísticamente significativa.

4.2.3. Talla de los sujetos

La talla de los soldados, tomada antes del entrenamiento era de $174,06 \pm 12,93$ cm (tabla 6).

C. BIOMÉTRICAS	PRE (N = 72)	POST (N = 62)
EDAD (años)	21 ± 2	
TALLA (cm)	$174,06 \pm 12,93$	
PESO (Kg)	$70,58 \pm 8,05$	$71,58 \pm 6,87$

Tabla 6 : Características biométricas de los sujetos estudiados

4.3. ESTUDIO DE CONDICIÓN AERÓBICA

El estudio aeróbico máximo se realizó en 70 sujetos de los 72. Uno de los mismos no pudo concluir el ejercicio máximo debido a un síndrome compartimental tibial anterior, y otro debido a un esguince del ligamento lateral externo del tobillo izquierdo, producido unos minutos antes de subirse al tapiz rodante.

Por diversas circunstancias, entre las que se incluyen ejercicios tácticos, servicios de armas, o indisposición del sujeto, se realizaron un total de 53 post-entrenamiento, todos ellos correspondientes a los 70 que lo efectuaron en la primera ocasión.

En la **figura 34** se ofrece una representación gráfica correspondiente a los resultados de las pruebas del test aeróbico.

4.3.1. Ventilación máxima (VE_{max})

Antes del entrenamiento se encontraron cifras de ventilación máxima media de $131,33 \pm 21,26$ litros por minuto (**tabla 7**). Después del entrenamiento las cifras de ventilación máxima media fueron de $141,64 \pm 18,70$ litros por minuto. Había un aumento significativo ($p < 0,001$), con una mejoría (M) del 7,85 %.

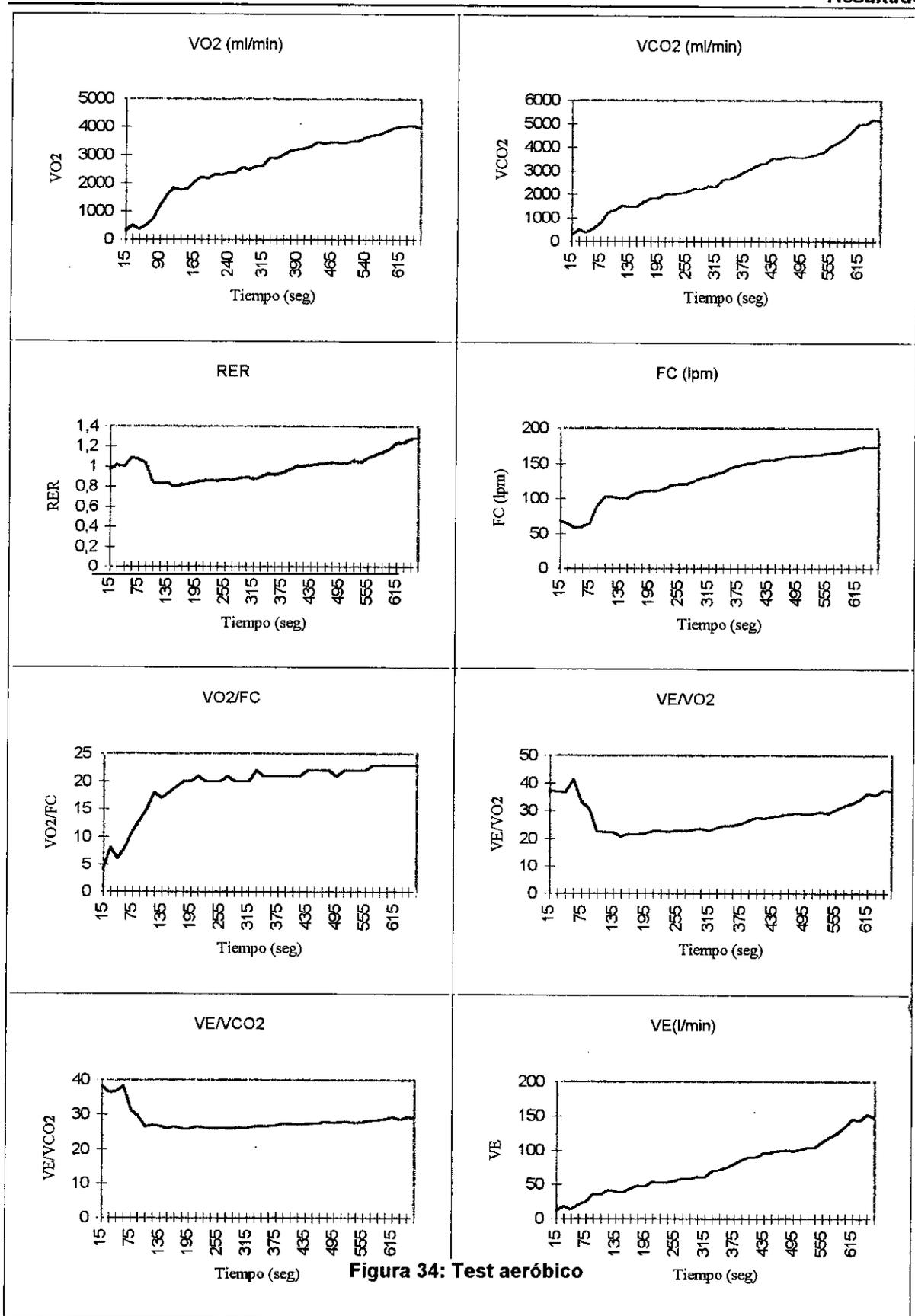


Figura 34: Test aeróbico

4.3.2. Cociente de intercambio gaseoso (RER)

Antes del entrenamiento se encontró un RER medio, en el ejercicio máximo de $1,24 \pm 0,18$ (tabla 7). Después del entrenamiento se encontró un RER medio de $1,21 \pm 0,70$. No se encontraron diferencias significativas.

4.3.3. Frecuencia cardíaca máxima (FC_{max})

Antes del entrenamiento encontramos una frecuencia cardíaca máxima media de 194 ± 9 lpm (tabla 7). Después del entrenamiento encontramos una frecuencia cardíaca máxima media de 194 ± 10 lpm . No se encontraron diferencias significativas.

4.3.4. Consumo máximo de oxígeno absoluto (VO_{2max} ; $ml \cdot min^{-1}$)

Antes del entrenamiento encontramos un consumo máximo de oxígeno absoluto medio de $3606,90 \pm 515,79$ $ml \cdot min^{-1}$ (tabla 7). Después del entrenamiento encontramos $3945,98 \pm 664,35$ $ml \cdot min^{-1}$. Se apreciaba una mejoría significativa ($p < 0,001$), con una mejoría del 9,40 %.

4.3.5. Consumo máximo de oxígeno relativo (VO_{2max} ; $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)

Antes del entrenamiento encontramos un consumo máximo de oxígeno respecto del peso corporal medio de $51,23 \pm 6,95 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (tabla 7). Después del entrenamiento encontramos unas cifras medias de $55,69 \pm 7,80 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Se apreciaba una mejoría significativa ($p < 0,01$), con una mejoría del 8,70 %.

4.3.6. Producción de dióxido de carbono (VCO_2 ; $ml \cdot min^{-1}$)

Antes del entrenamiento encontramos cifras medias de producción de dióxido de carbono de $4007,85 \pm 512,92 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ (tabla 7). Después del entrenamiento encontramos cifras medias de $4131 \pm 556,39 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. No había diferencias significativas.

4.3.7. Lactato máximo (LA_{max})

Antes del entrenamiento obteníamos cifras medias de lactato al final de la prueba aeróbica máxima de $6,97 \pm 1,42 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ (tabla 7). Después del entrenamiento encontramos cifras de $8,23 \pm 1,62 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Se apreciaba un aumento significativo ($p < 0,001$), con un aumento del 18,07 %.

4.3.8. Tensión arterial sistólica final (TAS_{max})

Antes del entrenamiento encontramos una tensión arterial sistólica media, al final del ejercicio máximo, de $164,32 \pm 21,61$ mmHg·(cm²)⁻¹ (**tabla 7**). Después del entrenamiento encontramos cifras medias de $164,93 \pm 12,57$ mmHg·(cm²)⁻¹. No había diferencias significativas.

4.3.9. Tensión arterial diastólica final (TAD_{max})

Antes del entrenamiento apreciamos una tensión arterial diastólica media, al final del ejercicio máximo de $72,63 \pm 13,58$ mmHg·(cm²)⁻¹ (**tabla 7**). Después del entrenamiento el valor medio de $74,57 \pm 9,87$ mmHg·(cm²)⁻¹. No había diferencias significativas.

4.3.10. Velocidad de tapiz en umbral láctico (V_{UL})

Antes del entrenamiento encontramos una velocidad media correspondiente al umbral láctico de $9,88 \pm 1,37$ km·h⁻¹ (**tabla 7**). Después del entrenamiento encontramos una cifra media de $10,92 \pm 1,11$ km·h⁻¹. Encontramos un aumento significativo ($p < 0,001$), con una mejoría (M) del 10,52 %.

4.3.11. Frecuencia cardíaca en umbral láctico (FC·UL)

Antes del entrenamiento encontramos una frecuencia cardíaca media, correspondiente al ejercicio realizado en umbral láctico de 152 ± 26 lpm (**tabla 7**). Después del entrenamiento encontramos una cifra media de 153 ± 11 lpm. No había diferencias significativas.

4.3.12. Velocidad del tapiz en OBLA (V·OBLA)

Antes del entrenamiento encontramos una cifra media de velocidad de tapiz de $12,23 \pm 1,42$ km·h⁻¹ (**tabla 7**). Después del entrenamiento obtenemos una cifra media de $13,43 \pm 1,12$ km·h⁻¹. Se apreciaban diferencias significativas ($p < 0,001$), con una mejoría del 9,81 %.

4.3.13. Frecuencia cardíaca en OBLA (FC·OBLA)

Antes del entrenamiento encontramos una frecuencia cardíaca media en OBLA de 172 ± 12 lpm (**tabla 7**). Después del entrenamiento la cifra media era de 172 ± 10 lpm. No se apreciaban diferencias significativas.

TEST AERÓBICO	PRE (N = 70)	POST (N = 62)	M (%)	P
VE max (l·min ⁻¹)	131,33 ± 21,26	141,64 ± 18,70	+7,85	<0,001
RER	1,24 ± 0,18	1,21 ± 0,70		
FC _{max} (lpm)	194 ± 9	194 ± 1		
VO _{2máx} (ml · min ⁻¹)	3606,90 ± 515,7	3945,98 ± 664,35	+9,40	<0,001
VO _{2máx} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	51,23 ± 6,9	55,69 ± 7,80	+8,70	<0,01
VCO ₂ (ml · min ⁻¹)	4007,85 ± 512,92	4131,00 ± 556,39		
LA _{max} (mmol · l ⁻¹)	6,97 ± 1,42	8,23 ± 1,62	+ 18,07	<0,001
TAS _{max} mmHg · (cm ²) ⁻¹	164,32 ± 21,61	164,93 ± 12,57		
TAD _{max} mmHg · (cm ²) ⁻¹	72,63 ± 13,58	74,57 ± 9,87		
V · UL (km · h ⁻¹)	9,88 ± 1,37	10,92 ± 1,11	+10,52	<0,001
FC·UL (ppm)	152 ± 26	153 ± 11		
V · OBLA (km · h ⁻¹)	12,23 ± 1,42	13,43 ± 1,12	+9,81	<0,001
FC·OBLA (ppm)	172 ± 10	172 ± 10		

Tabla 7: Resultados estudio aeróbico

4.4. ESTUDIO DE FUERZA y FLEXIBILIDAD

4.4.1. Fuerza en mano derecha

La fuerza en mano derecha antes de entrenamiento era de $52,34 \pm 8,80$ newtons (N) (tabla 8). Después del entrenamiento se obtenían cifras de $53,47 \pm 8,10$ N. No existían diferencias significativas.

4.4.2. Fuerza en mano izquierda

La fuerza en mano izquierda antes del entrenamiento era de $48,24 \pm 8,17$ N. Después del entrenamiento se obtenían cifras de $49,13 \pm 8,06$ N (tabla 8). No existían diferencias significativas.

4.4.3. Fuerza en piernas

La fuerza en piernas antes del entrenamiento era de $158,47 \pm 37,40$ N (tabla 8). Después del entrenamiento se obtenían cifras de $182,16 \pm 41,16$ N. Había un aumento significativo ($p < 0,001$), con una mejoría (M) del 14,94 %.

4.4.4. Fuerza en espalda

La fuerza de los músculos paravertebrales antes del entrenamiento era de $124,59 \pm 23,38$ N (tabla 8). Después del entrenamiento se obtenían cifras de $123,14 \pm 27,23$ N. No había diferencias significativas.

4.4.5. Fuerza en salto vertical

El tiempo de vuelo en el ejercicio de salto vertical antes del entrenamiento era de $0,58 \pm 0,07$ segundos (tabla 8). Después del entrenamiento era de $0,61 \pm 0,08$ s. Había un aumento significativo ($p < 0,001$), con una mejoría (M) del 7,01 %.

4.4.6. 1-RM

Antes del entrenamiento se obtienen cifras de $59,02 \pm 11,00$ kg. Después del entrenamiento era de $64,82 \pm 11,36$ kg (tabla 8). Había un aumento significativo ($p < 0,001$), con una mejoría (M) del 9,8 %.

4.4.7. Índice de fuerza

El índice de fuerza era antes del entrenamiento de $5,45 \pm 0,79$. Después del entrenamiento era de $5,75 \pm 0,94$ (**tabla 8**). Diferencia significativa ($p < 0,001$), con una mejoría (M) del 5,5 %.

4.4.8. Flexibilidad de columna vertebral

Antes del entrenamiento se aprecia un índice de flexibilidad de la columna vertebral en el test de cajón de $29,91 \pm 8,43$ cm (**tabla 8**). Después del entrenamiento era de $32,40 \pm 7,62$ cm. Había un aumento significativo ($p < 0,001$), con una mejoría del 8,32 %

FUERZA	PRE (N = 70)	POST (N = 62)	Mejoría (M) (en %)	P
MANO DERECHA (N)	52,34 ± 8,8	53,47 ± 8,10		
MANO IZQUIERDA (N)	48,24 ± 8,17	49,13 ± 8,06		
PIERNAS (N)	158,47 ± 37,40	182,16 ± 41,16	+14,94	<0,001
ESPALDA (N)	124,59 ± 23,38	123,14 ± 27,23		
SALTO VERTICAL (s)	0,57 ± 0,07	0,61 ± 0,08	+ 7,01	<0,001
1-RM (kg)	59,02 ± 11,00	64,82 ± 11,36	+ 9,8	<0,001
INDICE FUERZA	5,45 ± 0,79	5,75 ± 0,94	+ 5,5	<0,001
FLEXIBILIDAD (cm)	29,91 ± 8,43	32,40 ± 7,62	+ 8,32	<0,001

Tabla 8: Modificaciones de los patrones de fuerza y flexibilidad

P.O.E.F.A.

Ministerio de Defensa (Consejo Sup. Ed. Física y D. de las FAS)
Univ. Complutense (Esc. Med. Ed. Física y Deporte)

DIRECCIÓN TÉCNICA:
Servicio Médico del Ministerio de Defensa
Pº Castellana, 109, 28046 MADRID

Tfo.: 5555000 ext. 2315 ó 3177 Fax: 5563958

DINAMOMETRÍA

Nº Hª: XXXX FECHA: 02.03.94

APELLIDOS: XXXXXXXXXX

NOMBRE: XXXX D.N.I.: XXXXXXX

UNIDAD DE DESTINO: GOE 1

MANO DERECHA (M.D.): 68 / 66 / 68

MANO IZQUIERDA (M.I.): 58 / 65 / 65

EXTR. INFS. (P): 121 / 138 / 138

ESPALDA (E): 97 / 103 / 103

PESO: 69,5

ÍNDICE DE FUERZA = $\frac{M.D. + M.I. + P + E}{PESO} = \underline{5,37}$

FLEXIBILIDAD (TEST DEL CAJÓN): 32,5 / 33,0 33,0 cm

VALORACIÓN:

Dentro de los límites normales

Figura 36: Modelo de ficha de estudio de fuerza muscular

4.5. VALORACIÓN ANAERÓBICA: TEST DE WINGATE

4.5.1. Potencia pico

Antes del entrenamiento se obtienen potencias pico de $75,65 \pm 10,91$ m en 5 segundos (**tabla 9**). Después del entrenamiento se obtienen potencias pico de $77,90 \pm 11,33$ m en 5 segundos. No había diferencias significativas.

4.5.2. Potencia media

Antes del entrenamiento se obtienen potencias medias de $58,58 \pm 6,62$ m en 5 segundos (**tabla 9**). Después del entrenamiento se obtienen potencias medias de $61,57 \pm 6,15$ m en 5 segundos. Había mejoría significativas ($p < 0,01$), con una mejoría (M) de 5,10 %.

4.5.3. Índice de fatiga

Antes del entrenamiento se obtienen índices de fatiga de $42,78 \pm 12,10$ % (**tabla 9**). Después del entrenamiento se obtienen índices de fatiga de $38,56 \pm 10,78$ %. Aparecen diferencias significativas ($p < 0,05$), con una mejoría del 9,86 %.

WINGATE	PRE (N=70)	POST (N=62)	M (%)	P
POTENCIA PICO (m)	75,65 ± 10,91	77,90 ± 11,33		
POTENCIA MEDIA (m)	58,58 ± 6,62	61,57 ± 6,15	+ 5,10	< 0,01
ÍNDICE FATIGA	42,78 ± 12,10	38,56 ± 10,78	+ 9,86	< 0,05

Tabla 9: Resultados del Test de Wingate

P.O.E.F.A.

Ministerio de Defensa (Consejo Sup. Ed. Física y D. de las FAS)
 Univ. Complutense (Esc. Med. Ed. Física y Deporte)

DIRECCIÓN TÉCNICA:
 Servicio Médico del Ministerio de Defensa
 Pº Castellana, 109, 28046 MADRID
 Tfo.: 5555000 ext. 2315 ó 3177 Fax: 5563958

TEST DE CAPACIDAD ANAERÓBICA

Nº Hª: XXXX FECHA: 12.02.94
 APELLIDOS: XXXXXXXXXXXXX
 NOMBRE: XXXX D.N.I.: XXXXXX
 UNIDAD DE DESTINO: XXXXX

PESO: 86,5 Altura del sillín: 10

TEST ANAERÓBICO: WINGATE

RESISTENCIA: $86,5 \times 0,075 = 6,49$
 RESISTENCIA PARA CALENTAMIENTO: $6,49 \times 40 \% = 2,59$
 INDICE DE FATIGA = $\frac{90 - 30}{90} = 66,67 \%$

Tiempo (s)	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30
Metros recorridos	90	60	60	50	40	30

Figura 37: Modelo de Ficha de Valoración Anaeróbica

4.6. ANTROPOMETRÍA

4.6.1. Peso graso

Antes del entrenamiento se obtiene un peso graso medio de $9,51 \pm 3,43$ kg (tabla 10). Después del entrenamiento se aprecia un peso graso medio de $8,74 \pm 2,28$ kg. Se aprecia disminución significativa ($p < 0,05$), con una mejoría del 8,10 %.

4.6.2. Peso muscular

Antes del entrenamiento se obtiene un peso muscular medio de $34,29 \pm 3,77$ kg (tabla 10). Después del entrenamiento obtenemos un peso muscular medio de $36,52 \pm 3,49$ kg. Se aprecia un aumento significativo ($p < 0,001$), con una mejoría del 6,5 %.

ANTROPOMETRÍA	PRE (N = 70)	POST (N = 62)	M (%)	P
PESO GRASO (kg)	9,51 ± 3,43	8,74 ± 2,28	+ 8,10	< 0,05
PESO MUSCULAR (kg)	34,29 ± 3,77	36,52 ± 3,49	+ 6,50	<0,001
PESO TOTAL	70,58 ± 8,05	71,58 ± 6,87		

Tabla 10: Resultados antropométricos

P.O.E.F.A.

Ministerio de Defensa (Consejo Sup. Ed. Física y D. de las FAS)
 Univ. Complutense (Esc. Med. Ed. Física y Deporte)

DIRECCIÓN TÉCNICA:
 Servicio Médico del Ministerio de Defensa
 Pº Castellana, 109, 28046 MADRID
 Tfo.: 5555000 ext. 2315 ó 3177 Fax: 5563958

ANTROPOMETRÍA

Nº Hº: _____ FECHA: _____

APELLIDOS: _____

NOMBRE: _____ D.N.I.: _____

UNIDAD DE DESTINO: _____

PESO: _____ TALLA: _____

DIÁMETRO BIEPIDONDÍLEO HUMERAL: _____

DIÁMETRO BIEPICONDÍLEO FEMORAL: _____

DIÁMETRO BIESTILOIDEO RADIAL: _____

PERÍMETRO BRAZO CONTRAIDO: _____

PERÍMETRO MÁXIMO PIERNA: _____

PLIEGUE TRÍCEPS: / /

PLIEGUE SUBESCAPULAR: / /

PLIEGUE SUPRAILÍACO: / /

PLIEGUE ABDOMINAL: / /

PLIEGUE ANTERIOR MUSLO: / /

PLIEGUE MEDIAL PIERNA: / /

Figura 38: Modelo de Ficha de Antropometría

4.7. ESPIROMETRÍA

4.7.1. CVF (Capacidad vital forzada)

Antes del entrenamiento se obtiene una FVC media de $5,03 \pm 0,72$ l (tabla 11). Después del entrenamiento se aprecia una FVC media de $5,23 \pm 0,65$ l. Se aprecia un aumento significativo ($p < 0,001$), con una mejoría (M) del 3,98 %.

4.7.2. FEV₁ (Volumen espirado en el primer segundo)

Antes del entrenamiento se obtiene un FEV₁ medio de $4,44 \pm 0,67$ l (tabla 11). Después del entrenamiento se aprecia un FEV₁ medio de $4,55 \pm 0,52$ l. Se aprecia un aumento significativo ($p < 0,05$), con una mejoría (M) del 2,5 %.

4.7.3. FEV₁ / CVF

Antes del entrenamiento se obtiene un FEV₁/CVF de $88,73 \pm 7,16$ % (tabla 11). Después del entrenamiento obtenemos cifras medias de $87,17 \pm 5,94$ %. No había diferencias significativas.

4.7.4. PEF (Flujo pico)

Antes del entrenamiento se obtiene un PEF de $9,69 \pm 2,11 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (tabla 11). Después del entrenamiento obtenemos un PEF medio de $9,77 \pm 2,26 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. No había diferencias significativas.

ESPIROMETRÍA	PRE (N = 70)	POST (N = 62)	M (%)	P
CVF (l)	$5,03 \pm 0,72$	$5,23 \pm 0,65$	+ 3,98	<0,001
FEV ₁ (l)	$4,44 \pm 0,67$	$4,55 \pm 0,52$	+ 2,5	<0,05
FEV ₁ / CVF (%)	$88,73 \pm 7,16$	$87,17 \pm 5,94$		
PEF(l·s ⁻¹)	$9,69 \pm 2,11$	$9,77 \pm 2,26$		

Tabla 11: Resultados espirométricos

4.8. TEST DE CAMPO

4.8.1. Tiempo de ejecución

Antes del entrenamiento el tiempo medio empleado en la ejecución del ejercicio fue de 617 ± 86 segundos (**tabla 12**). Después del entrenamiento el tiempo medio de ejecución era de 535 ± 67 segundos. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,001$), y una mejoría del 13,29 %.

TEST DE CAMPO	PRE (N = 70)	POST (N = 62)	M (%)	P
TIEMPO (seg.)	617 ± 86	535 ± 67	+ 13,29	<0,001

Tabla 12: Resultados del Test de Campo

4.9. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

4.9.1. Colesterol total

Antes del entrenamiento se aprecian cifras medias de colesterol total de 159,98 \pm 21,13 mg·dl⁻¹ (**tabla 13**). Después del entrenamiento encontramos cifras de 175,17 \pm 22,68 mg/dl. Se encontraban diferencias significativas ($p < 0,001$), con una elevación del 9,49 %.

4.9.2. Colesterol HDL

Antes del entrenamiento se encuentran cifras medias de colesterol-HDL de 48,1 \pm 9,47 mg·dl⁻¹ (**tabla 13**). Después del entrenamiento encontramos cifras medias de 53,33 \pm 11,77 mg·dl⁻¹. Se encontraban diferencias significativas ($p < 0,001$), con una mejoría (M) del 10,87 %.

4.9.3. Colesterol LDL

Antes del entrenamiento encontramos cifras medias de colesterol-LDL de 100,24 \pm 19,05 mg·dl⁻¹ (**tabla 13**). Después del entrenamiento encontramos cifras

medias de $108,43 \pm 18,28 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$. Se encontraban diferencias significativas ($p < 0,001$), con una mejoría (M) producida por una disminución del 8,17 %.

4.9.4. Triglicéridos

Antes del entrenamiento encontramos cifras medias de triglicéridos de $55,47 \pm 18,64 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ (**tabla 13**). Después del entrenamiento encontramos cifras medias de $66,98 \pm 30,42 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$. Se encontraban diferencias significativas ($p < 0,001$).

4.9.5. Sideremia

Antes del entrenamiento se encontraban cifras medias de sideremia de $86,5 \pm 28,47 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ (**tabla 13**). Después del entrenamiento encontramos cifras medias de $79,85 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$. No se encontraron diferencias significativas.

BIOQUÍMICA	PRE (N = 70)	POST (N = 62)	M (%)	P
COLESTEROL TOT.	159,98 ± 21,13	175,17 ± 22,68	- 9,49	<0,001
COLESTEROL HDL	48,10 ± 9,47	53,33 ± 11,77	+10,87	<0,001
COLESTEROL LDL	100,24 ± 19,05	108,43 ± 18,28	- 8,17	<0,001
TRIGLICÉRIDOS	55,47 ± 18,64	66,98 ± 30,42		<0,001
SIDEREMIA	86,50 ± 28,47	79,85 ± 26,85		

Tabla 13: Resultados bioquímicos más característicos

DISCUSIÓN

5.1. PARÁMETROS BIOMÉTRICOS

Los resultados obtenidos en este estudio en lo que se refiere a la edad, nos muestran una población con una edad media de 21 años, con un rango entre 19 y 23. La homogeneidad de la población es debido a que se trataba de soldados de reemplazo que se encontraban prestando el Servicio Militar Obligatorio. La edad no es la misma en todos los sujetos, aún siendo del mismo reemplazo, ya que algunos sujetos habían solicitado prórroga de incorporación por encontrarse estudiando, o bien por algún otro tipo de justificación particular.

Así pues, los sujetos de nuestro estudio eran jóvenes, y por tanto con un peso saludable de poco más de $70,58 \pm 8,05$ kg. Después del Período de Instrucción Básico, de 8 semanas, este parámetro aumentó discretamente hasta llegar a $71,24 \pm 6,87$ kg, no siendo estadísticamente significativo. Las cifras medias que ofrece el Anuario Estadístico Militar de 1993 son semejantes a las obtenidas₂₅₅. En general, el estudio revela como los soldados de mayor peso al iniciar el estudio, perdieron más kilos en las 8 semanas del período de instrucción; en cambio, los soldados menos pesados ganaron peso durante este mismo período. Esto se encuentra en consonancia con el aumento del peso muscular en un 6,50 %, y la disminución del peso graso en un 8,10 %, en el grupo total estudiado. Los comentarios específicos de la modificación de estas variables antropométricas lo trataremos en la sección correspondiente ; no obstante, parece clara una modificación de la composición corporal del grupo de

soldados estudiados, ganando peso muscular y perdiendo grasa corporal.

La talla de nuestros soldados, con una media de $174,06 \pm 12,93$ cm, refleja una de las transformaciones más espectaculares que ha tenido lugar en nuestra sociedad en el último siglo. Nuestras cifras coinciden con el Anuario Estadístico Militar de 1993₂₅₅. Al ser este parámetro uno de los datos tomados sistemáticamente al ingresar los mozos en el Servicio Militar, disponemos de datos muy exactos de la evolución de la población en estos años. Comparándolo con las cifras que propone R. Martín como varones de talla mediana: entre 164 y 167 centímetros en 1928₂₅₆.

5.2. ESTUDIO DE LA CONDICIÓN AERÓBICA

Con respecto a nuestros resultados de la prueba de condición aeróbica hemos de señalar especialmente cinco elementos fundamentales:

- a. Mejoría del 7,85 % ($p < 0.001$) de la Ventilación Máxima, que aumenta desde $131,33 \pm 21,26$ l antes del PIB, hasta $141,64 \pm 18,70$ l, después de las 8 semanas de instrucción militar.
- b. Mejoría del 9,40 % ($p < 0.001$) del Consumo Máximo de Oxígeno Absoluto, que aumenta desde $3606,90 \pm 515,7$ ml·min⁻¹ antes del PIB, hasta $3945,98 \pm 664,35$ ml·min⁻¹, después de las 8 semanas.
- c. Mejoría del 8,70 % ($p < 0.01$) del Consumo Máximo de Oxígeno Relativo, que aumenta desde $51,23 \pm 6,9$ ml·kg·min⁻¹, hasta $55,69 \pm 7,80$ ml·kg·min⁻¹.

- d. Mejoría de un 10,52 % ($p < 0.001$) en la velocidad de carrera a la que se produce el Umbral Láctico, desde $9,88 \pm 1,37 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ hasta $10,92 \pm 1,11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ después del PIB.
- e. Mejoría del 9,81 % ($p < 0.001$) en la velocidad de carrera a la que aparecía en OBLA, desde $12,23 \pm 1,42 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, hasta $13,43 \pm 1,12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Desde hace tiempo, la condición aeróbica se emplea habitualmente como uno de los parámetros fundamentales en la selección del personal militar¹²⁴. Si bien creemos que éste es el primer estudio realizado en nuestro país, en el que se ha evaluado de forma directa el perfil ergoespirométrico del soldado, y su evolución a lo largo de un programa de entrenamiento.

En Canadá se estudiaron los efectos de la instrucción militar básica por Allen y Tatarchuk (1971)¹²⁶ en un período de 10 semanas en 118 oficiales cadetes varones. El $\text{VO}_{2\text{max}}$ se estimó mediante ejercicio submáximo en cicloergómetro. El $\text{VO}_{2\text{max}}$ predicho aumentaba de 39,7 a 46,7 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, con un incremento por consiguiente del 17,5 %. Esta gran mejoría probablemente se debe a los niveles iniciales bajos del $\text{VO}_{2\text{max}}$. Se encontró una correlación inversa entre el nivel físico inicial y la mejoría lograda. Se deben citar, también los estudios de Myles y cols. (1979)¹³⁶ en este mismo país, con resultados similares.

En Dinamarca, Hartling y cols. (1975)¹²⁷ siguieron el entrenamiento de 137 reclutas varones durante 3 meses. En este grupo, se apreció un resultado más pobre,

incrementando tan sólo un 6 % el VO_{2max} , de 45 a 48 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Estos estudios se realizaron con cicloergómetro. El resultado del test de 12 minutos de carrera mejoró un 7 % (2382 a 2561 m). Esto nos hace insistir de nuevo en la gran dependencia que tiene en la mejora de la potencia aeróbica, el nivel físico previo. Alrededor de un tercio de los reclutas que tenían un alto VO_{2max} . ($>52 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) al incorporarse al servicio militar perdieron hasta un 20 % después del primer período de instrucción. La explicación más probable pudiera ser que los soldados que se encontraban en mejor forma física al ingresar no considerasen tanto el entrenamiento para mantener esa forma física como un reto a asumir. Se considera por tanto que se debería tender a una personalización de la preparación física y el entrenamiento físico militar.

En Nueva Zelanda, Stacy y cols. (1982)¹²⁸ estudiaron las modificaciones acaecidas en 50 reclutas del Ejército de Tierra, en un período de instrucción básica de 10 semanas de duración. El rendimiento del test de carrera de 2,4 Km mejoró un 9 % tras 6 semanas y un 16 % tras las 10 semanas referidas, partiendo de una media inicial de 10'18''. El VO_{2max} . se determinaba de manera indirecta a partir del resultado del test de carrera descrito. Considerando que el VO_{2max} . mejoró de 48 a 56 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, lo que representa el 16 % de las cifras descritas. Todos los reclutas con un VO_{2max} . inferior a 58 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ mejoraban con el entrenamiento, mientras que los que lo tenían mejor al comienzo disminuían esas cifras. se sugiere que el entrenamiento iba dirigido a conseguir un VO_{2max} . de entre 56 y 60 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.

En Noruega, Bahr y cols. (1991)¹³⁷, estudiaron un grupo de cadetes de la

Academia Militar, tras un ejercicio táctico de 4 días de duración, sin posibilidad de disponer de un tiempo determinado para dormir, y prácticamente sin alimentación. El consumo de oxígeno se incrementaba un 15 %, disminuyendo la eficiencia mecánica.

En 37 reclutas varones en Finlandia, Viitasalo y cols. (1982)¹²⁹ estudiaron el efecto del entrenamiento militar elemental durante 5 meses. Ese entrenamiento produjo una discreta mejoría de unos 60 metros, que representaba el 2,2 % de incremento de la distancia recorrida en el test de 12 minutos. La explicación de estos resultados podemos buscarla en el buen nivel físico que los sujetos tenían al incorporarse a filas, que corrían 2760 metros en el test previo al entrenamiento. Aquellos soldados que disponían de mejores marcas antes del entrenamiento normalmente no mejoraban, o incluso empeoraron los resultados, mientras que se objetivaba una mejoría de entre el 13 y el 17 % de los soldados que corrieron por debajo de la media. Una vez más esto nos hace subrayar la tremenda importancia que tiene el nivel físico que disfruta el recluta al incorporarse a la Unidad.

También en Finlandia, de nuevo Viitasalo y cols. (1982), estudiaron un grupo de 75 reclutas varones, sometidos a un Período de Instrucción Básico de 5 meses de duración, y encuentra una homogenización de la capacidad aeróbica determinada mediante el Test de Cooper¹³⁸, así como una homogenización de la fuerza máxima en pruebas isométricas^{139, 140 y 222}.

En el Ejército de Tierra del Reino Unido, Vogel y cols. (1978)¹³⁰ estudiaron las modificaciones experimentadas en el VO_{2max} de 254 soldados durante un

entrenamiento de 2 meses. El VO_{2max} se predijo mediante cicloergometría. El VO_{2max} estimado mejoraba en torno a un 8 %, desde 42 a 45,3 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ mediante el entrenamiento. Los reclutas con un VO_{2max} medido en cicloergómetro a partir de 45 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, que puede equipararse a 52 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ en tapiz rodante, no experimentaban apenas mejoría, o incluso las cifras decrecían. El resultado de este estudio nos muestra que la instrucción física militar básica es útil para mejorar el VO_{2max} en aquellos reclutas que lo tenían bajo, pero no en los que ya presentaban unos niveles adecuados, como ya se ha comentado anteriormente.

En Holanda, Van Dijk y cols. (1991)¹³¹, estudiaron unos soldados antes y después de 4 meses de entrenamiento militar básico. La distancia recorrida en el test de 12 minutos a lo largo del período de instrucción. Al empezar recorrían una media de 2399 m., y al terminar recorrían 2417 m. Es curioso destacar que la mejoría del resultado obtenido en la prueba de 12 minutos era inversamente proporcional al número de lesiones de sobreesfuerzo, y no tenía correlación con las lesiones agudas sufridas.

En la mayor parte de estos estudios los valores de potencia y capacidad aeróbica han sido evaluados de forma indirecta, por lo que son criticables en cuanto a los resultados obtenidos; por otra parte, a la hora de enfrentarlos a nuestros datos hemos de ser cautos, ya que los parámetros obtenidos en nuestra investigación lo han sido de forma directa, y por tanto más fiable.

En investigaciones ergoespirométricas con análisis directo de gases, Vogel y

cols. (1977)¹³², estudiaron un grupo de militares del Ejército de Tierra de los EEUU. Analizaron un grupo de 186 varones y 159 mujeres, a quienes sometieron a un entrenamiento básico de 7 semanas, determinando VO_{2max} mediante ergometría en tapiz rodante, observando una mejoría del 8 % en varones, si bien el grupo femenino no experimentó mejoría alguna. Los resultados de nuestro estudio son prácticamente iguales a los de esta investigación, en cuanto a la mejora obtenida en el VO_{2max} . De la misma forma, Patton y cols. (1980)¹³⁴, también en el Ejército de Tierra de los EEUU, estudiaron un grupo de militares de 87 varones y 57 mujeres, donde identificaron una mejoría del 3 % en varones y 7 % en mujeres, tras la instrucción básica de 7 semanas, medido en tapiz.

Anteriormente, Daniels y cols. (1978)¹³³ compararon, mediante tapiz rodante y carrera de 2,4 km, los resultados de la instrucción básica de 7 semanas en dos grupos de soldados de 30 hombres y 30 mujeres. Comprobaron una mejoría de VO_{2max} , cuando se determinaba mediante la ergometría en tapiz, que no se acompañaba de mejoría en la carrera de 2,4 km. Este mismo grupo, analizando un grupo de mujeres en instrucción básica de 7 semanas, obtiene una mejoría semejante al referido, siendo en este caso las determinaciones aplicadas únicamente con estudio en tapiz rodante.

Más tarde, Teves y cols. (1985)¹³⁵, empleando cicloergometría y test del cajón, objetivaron una mejoría en 90 hombres y 113 mujeres en torno al 10 %. En el Ejército de Tierra de Austria, Baumgartl y cols. (1988)¹⁴² y también Cooper y cols. (1971)¹⁴³, describen datos semejantes.

En un estudio clásico de Patton y cols. (1980)¹⁴⁴, se demuestra que el entrenamiento efectuado durante el período de instrucción básico de 7 semanas del Ejército de Tierra norteamericano, es especialmente efectivo para los hombres y mujeres respectivamente, que parten con potencias aeróbicas bajas (por debajo de 49 - 52 ml.kg⁻¹.min⁻¹ y 38 - 41 ml.kg⁻¹.min⁻¹)¹⁸.

En un estudio longitudinal de 2 años de duración, realizado sobre cadetes de la Academia Militar de West Point, Daniels y cols. (1982)¹⁴⁵ consideran que las diferencias entre hombres y mujeres se mantienen aún después de períodos de entrenamiento comunes prolongados. Estudios semejantes de este investigador y otros ofrecen resultados semejantes^{67, 104, 142, y 145}. Así, Vogel y cols. (1977, 1978, y 1979)^{140, 145 y 146} encuentran datos muy parecidos.

Rudzki y cols. (1989)¹⁶⁴ evaluaron un programa experimental de marcha, para compararlo con el entrenamiento habitual, estudiando la mejoría aeróbica de las tropas de Australia. Para ello se estudió a 46 soldados del Ejército de Tierra, a lo largo del período de instrucción básica de 11 semanas de duración. Se realizó cicloergometría submáxima para estimar el VO_{2max}. A uno de los grupos se le asignó el entrenamiento especial, y el otro actuaba como grupo control, efectuando la instrucción básica tradicional. En el grupo experimental no se programó carrera, excepto aquellas que eran propias de la ejecutadas durante el entrenamiento en circuito, o los ejercicios de instrucción de combate. En las primeras 6 semanas se estableció un ritmo de marcha en torno a los 5 kilómetros por hora (kph), llevando su equipo reglamentario de 16 a

21 Kg a todas partes, después de las cuales, la instrucción volvía a ser la habitual. En el grupo control, cuya instrucción incluía carrera, la mejoría del VO_{2max} inicial, en torno a $54,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, mejoró un 8 % tras las primeras 6 semanas de instrucción, y un 12 % al acabar las primeras 11 semanas. En el grupo experimental, que introducía el ejercicio de marcha referido, la mejora del VO_{2max} en las primeras semanas fue menor: en torno al 3 %. Esto provocó cierto malestar entre sus mandos, que consideraban que no trabajaban suficientemente duro. Por tanto, a partir de la sexta semana, se les incrementó el ritmo de marcha estableciéndola en 7,5 kph. Como consecuencia de ello, el VO_{2max} experimentó una mejoría adicional del 5 %, en las últimas 4 semanas. Es destacable que ambos grupos sufrieron un índice lesional semejante. Por tanto, este estudio revela que el entrenamiento de marcha puede ser un método de instrucción muy efectivo, siempre que el ritmo de ésta sea superior a 5 kph. No obstante, en lo concerniente a la instrucción de reclutas parece más efectivo el empleo de carrera de fondo, al menos en lo concerniente a la optimización del VO_{2max} .

En otro estudio de Hollman y cols. (1967)¹⁶⁴ se evaluó el resultado de distintos métodos de entrenamiento aeróbico con 90 reclutas alemanes: carrera de resistencia (3,5 a 7 Km, en 20 ó 40 min); carrera interválica (7 a 15 x 200 m, 33 - 36 s de descanso, 5 veces a la semana); entrenamiento en circuito de 10 ejercicios. El entrenamiento en circuito era diario, con un incremento durante cada una de las 4 semanas de duración. La intensidad aplicada a todos los grupos de entrenamiento iba dirigida a obtener una frecuencia cardíaca entre 160 y 180 pulsaciones por minuto. El

VO_{2max} . se medía directamente mediante cicloergometría máxima. Se observó un aumento del VO_{2max} . significativo en los cuatro grupos, entre 9 y 16 %. El entrenamiento interválico era el más efectivo para la elevación del VO_{2max} . (16 %), mientras que la carrera continua lo mejoraba en un 15 %, y el entrenamiento en circuito conseguía 13 %. El grupo entrenado con los métodos tradicionales era menos útil en este aspecto (9 %). Los valores más altos con respecto a la fuerza muscular se obtenían tras el entrenamiento en circuito (12 %), comparado con el 3 % obtenido con el entrenamiento tradicional, el 4 % que ofrecía el interválico, y el 1 % de la carrera continua. Según estos resultados podemos concluir que el entrenamiento interválico y la carrera continua son dos métodos útiles para mejorar el VO_{2max} , pero cuando el objetivo perseguido es tanto la mejora de la potencia aeróbica, como la fuerza, y resistencia muscular, el entrenamiento en circuito es el más adecuado.

En la Armada de los Estados Unidos Marcinik y cols. (1987)¹⁶⁵ evaluaron a 57 marineros varones durante un período de instrucción básico de 8 semanas, y se les asignaron, al azar, carrera continua, o entrenamiento interválico, en combinación con entrenamiento en circuito (CWT). Todos los sujetos completaban 3 CWT, y 3 sesiones de carrera por semana, efectuándolo en días alternos. El entrenamiento de carrera continua comenzó con 2,4 Km, llegando hasta 3,6 Km, realizados a un ritmo de 5 minutos por kilómetro. Los entrenados mediante el sistema interválico pasaron de 6 x 400 m., a 9 x 400 m, a un ritmo de 4,4 min por Km (13,64 Kph), con 15 s de recuperación entre carreras. Se realizó prueba máxima en cicloergómetro. Los

resultados indican que se apreciaba una mejoría del 13 al 15 % debido al entrenamiento, sin obtener diferencias significativas entre ambos grupos de carrera.

En un estudio anterior (1984), este mismo grupo¹⁶⁶ había analizado el efecto del entrenamiento en 224 marineros de los Estados Unidos. El entrenamiento habitual consistía en 32 sesiones de 40 minutos de duración cada una de ellas, a lo largo de 8 semanas. Cada una de estas sesiones constaba de 10 minutos de estiramientos y ejercicios calisténicos, seguidos de carrera continua. La carrera se iba incrementando de manera progresiva entre 1,25 a 2,25 millas (2 - 3,6 Km) a un ritmo de 8 minutos por milla (12 kph). Este entrenamiento experimental era más intenso, y más orientado hacia la potencia aeróbica. Las sesiones de entrenamiento se programaron dos veces al día, 6 días en semana. Las carreras de 3,5 millas (5,6 Km) se llevaban a cabo a un ritmo de 8 minutos por milla (12 kph). Los resultados ofrecían una mejoría sustancial en el máximo trabajo físico alcanzado en cicloergómetro (14 %), frente al método habitual (3 %). De esto podemos deducir la utilidad de este tipo de programas para mejorar la faceta aeróbica del combatiente.

En Suecia, Knuttgen y cols. (1973)¹⁶⁷ estudiaron un grupo de 37 reclutas a los que se les aplicaron diferentes métodos de entrenamiento de intervalos durante 2 meses: Uno de ellos tenía ejercicio 15 s, y reposo 15 s, durante 15 minutos, 3 veces por semana. El segundo hacía 3 minutos de entrenamiento y 3 minutos de descanso, durante 15 minutos 3 veces por semana. El tercer grupo realizaba el entrenamiento tradicional el primer mes, y durante el segundo hacían 3 minutos de ejercicio y 3

minutos de descanso, 5 veces por semana. El VO_{2max} calculado al comenzar estaba en torno a $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en los 3 grupos. Tras 1 mes de entrenamiento se observó que el segundo grupo tenían la mayor elevación del VO_{2max} (20 %). Al final del servicio militar (10 meses) el VO_{2max} de todos los grupos se asemejaba al de ingreso (anterior al período de instrucción básico). Este efecto de pérdida de entrenamiento lo describen otros autores como Vogel y cols. (1986)¹⁶⁸ en soldados norteamericanos, o Egger y cols. (1985)¹⁶⁴ en el Ejército holandés, estudiado en suboficiales.

Se discute a menudo que la actividad militar cotidiana no suele ser suficiente para mantener el estado físico óptimo que es necesario en combate, por lo que la mayor parte de los investigadores recomiendan aplicar planes de entrenamiento físico complementarios en muchas ocasiones, fundamentalmente cuando busquemos un grado de condición física especial. Son muy variadas las enseñanzas que se pudieron obtener de los estudios de Knuttgen (1973)¹⁶⁷. Siguiendo sus razonamientos parece mantener que sería posible mejorar sustancialmente el VO_{2max} (20 %) en el primer mes de instrucción, con solo 3 sesiones de entrenamiento interválico de 30 minutos (tiempo real de ejercicio: 15 minutos). Una pauta de entrenamiento basada en 3 minutos de ejercicio y 3 minutos de descanso es más efectivo que períodos de ejercicio de 15 segundos. No obstante esta mejoría sustancial se pierde con cierta facilidad en poco tiempo, al cesar el entrenamiento.

Por consiguiente la mejoría de la potencia aeróbica producida por el entrenamiento aeróbico es muy variable (0 - 17%). El factor más importante para este

elemento es el nivel inicial de los sujetos. Las mujeres se benefician del entrenamiento mixto con hombres, objetivándose mejorías de entre el 7 y el 10 % en el VO_{2max} .

Otra conclusión que parece estar en la mente de todos es que se hace imprescindible una evaluación del nivel de actitud física antes de comenzar la instrucción.

En nuestro conocimiento, éste es el primer estudio realizado en nuestras Fuerzas Armadas sobre la eficacia del entrenamiento físico en el seno del Ejército sobre la evolución del VO_{2max} evaluado de forma directa por ergoespirometría, y uno de los pocos en el ámbito internacional que ha evaluado la eficacia de ese período de instrucción sobre la capacidad aeróbica (umbral láctico y OBLA).

Los resultados muestran claramente, primero una elevada capacitación aeróbica en el soldado que se incorpora a estas unidades, y segundo una mejora significativa de la potencia y capacidad aeróbica después del período de instrucción, lo que refleja la eficacia del programa empleado en nuestras Fuerzas Armadas.

5.3. ESTUDIO DE FUERZA Y FLEXIBILIDAD

Existen estudios de relevancia, sobre estas cualidades fisiológicas realizados en las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos (1977, 1978, 1982, y 1990)^{2, 3, 108, 145}, no habiendo encontrado datos en este sentido en las Fuerzas Armadas

Españolas.

En nuestra investigación, los resultados muestran que la fuerza máxima en ambas manos y de los músculos paravertebrales de la espalda no se modificó, mejorando significativamente los resultados obtenidos en el trabajo muscular de las piernas, pasando de $158,47 \pm 37,40$ N a $182,16 \pm 41,16$ N ($p < 0.001$), lo que representa un 14,94 % de incremento.

En consonancia con lo expuesto, también apreciamos una mejoría en los resultados obtenidos en el salto vertical, que mejoró un 7,01 % ($p < 0.001$), siendo este dato un reflejo de la fuerza de los miembros inferiores y también de su potencia anaeróbica, que también mejoraron en el grupo de soldados estudiados.

Las cifras del "press de banca" (1RM) y del índice de fuerza, nos indican una mejoría significativa después del Período de Instrucción Básico de 8 semanas, con valores de $59,02 \pm 11,00$ kg, hasta $64,82 \pm 11,36$ kg ($p < 0.001$), y de $5,45 \pm 0,79$, hasta $5,75 \pm 0,94$ ($p < 0.001$), respectivamente. Estos datos revelan de forma clara la efectividad del entrenamiento aplicado en nuestros soldados.

En este sentido, Fleck y Kraemer (1987)¹⁹³ encontraron mejorías entre el 15 y el 30 % en la fuerza isométrica máxima entre las 4 y las 7 semanas de entrenamiento isométrico; entre el 8 y el 44 % en fuerza dinámica en "press" de banca entre 9 y 24 semanas de entrenamiento; y entre el 7 y el 42 % en la fuerza dinámica de piernas tras 8 a 24 semanas. La duración de la fase de instrucción militar, y por consiguiente de preparación física puede justificar las diferencias cuantitativas halladas con respecto

a nuestro estudio, con un período de preparación de 8 semanas.

Por otra parte, la flexibilidad de la columna vertebral también mejora un 8,32 %, mejoría estadísticamente significativa ($p < 0.001$), y que refleja igualmente la eficacia del plan de entrenamiento en la mejora de la flexibilidad general del soldado después del período de instrucción.

Como ya habíamos expresado con anterioridad uno de los problemas importantes que tenía la instrucción física militar clásica era la preponderancia de los ejercicios calisténicos^{166 y 206}. Éstos pueden mejorar ligeramente la fuerza muscular en las primeras semanas, pero debido a la baja intensidad que se suele aplicar, la mejoría suele ser mínima, y se estabiliza prematuramente. Nuestro estudio refleja que los nuevos planes de trabajo aplicados en nuestras Fuerzas Armadas, mejoran globalmente la fuerza muscular, si bien en los miembros superiores no se alcanza significación estadística, seguramente por el propio diseño del programa que insiste más en el trabajo con miembros inferiores.

En este sentido, Knapik y cols. (1990)²⁵ trabajando con soldados de descubren una sensible disminución de la condición anaeróbica, y de la fuerza en extremidades superiores, que consideran de gran importancia con respecto al rendimiento de las tropas. Este autor insiste, al igual que otros, en la gran importancia que la fuerza de los miembros superiores tiene en las actividades militares en campaña.

En nuestro grupo, probablemente por el empleo de entrenamiento mixto: entrenamiento en circuito, trabajo de musculación, etc., obtenemos mejores resultados

generales que Marcinik y cols. (1984) en un Período de Instrucción Básico semejante de 8 semanas (resultados en cintura escapular muy irregulares entre pérdidas de 14 % y mejorías del 25 %, y resultados en tronco que oscilan entre pérdidas del 6 % y mejorías de 25 %). El mismo grupo, dirigido por Marcinik²⁰⁷, aplicando un entrenamiento en circuito, los resultados mejoran substancialmente.

Por otra parte, Hollman y cols., en 1967¹⁶⁴ trabajando con reclutas de Alemania en fases de instrucción de 4 semanas, evidenció una mejoría más importante que en nuestro estudio en miembros superiores debido a que el entrenamiento en circuito favorecía especialmente este aspecto, obteniendo mejorías del 17 %. Los miembros inferiores mejoraban un 9 %, y los de la espalda un 11%. El tipo de entrenamiento utilizado puede justificar esas diferencias.

En otra investigación, Viitasalo y cols. en 1982¹²⁹ estudiaron los efectos de 5 semanas de instrucción básica en 75 reclutas de Finlandia, donde un grupo de ellos realizaba el entrenamiento habitual y a otro se les entrenaba con un circuito adicional. Sólo los soldados con muy bajo nivel de fuerza mejoraron sensiblemente. Este autor obtiene resultados parecidos a los nuestros, con una mejoría del 11 % en los músculos de los miembros inferiores, y una mejoría discreta de miembros superiores (2 %), y de tronco (3 %). No obstante hay que tener en cuenta que este estudio se efectuó al final de un período de instrucción más prolongado (19 semanas), en el cual probablemente las ganancias más importantes se produjeran al principio.

Los resultados de nuestro estudio, junto con los de otros autores ^{129, 164,} indican

que el entrenamiento en circuito con incrementos progresivos de la carga parece ser un método de suficiente utilidad para la instrucción militar.

Por otra parte, Song y cols. (1989), estudiando una Unidad de Infantería en Canadá, llama la atención sobre la pobre condición física entre el personal militar por él evaluado₂₀₉. Nuestros soldados, en cambio, presentaban un perfil fisiológico que reflejaba una buena condición física antes de iniciar el entrenamiento. Hay que tener en cuenta que estas diferencias iniciales pueden condicionar los resultados de un estudio de estas características. En nuestro caso, el perfil de la unidad en la que iban a ingresar los futuros soldados, quizá justifique una selección previa a la incorporación del propio sujeto que pretende incorporarse a filas, y conoce la gran exigencia física que se necesita en este tipo de Unidades de Élite.

También hay estudios en la literatura que evalúan y valoran los programas de entrenamiento más eficaces en el medio militar. Así, May y cols. (1992)₂₁₀ desarrolló un sistema específico de entrenamiento de fuerza dirigido al personal militar destinado en Unidades Acorazadas.

En este sentido, Häkkinen y cols. (1987) que demostraron₁₉₀ que los sujetos previamente no entrenados que empezaban a entrenar en fuerza mejoraban cerca del doble en la mitad de tiempo, cuando se les comparaba con sujetos previamente entrenados, sugiere que el entrenamiento debe ser progresivo y realizado en función de las mejorías que vayan experimentando los soldados durante el entrenamiento.

Dado que la fuerza muscular constituye el elemento fundamental de la actividad

física militar en la tercera parte de los ejercicios que comúnmente se realizan en combate, según lo revela un estudio realizado en el Ejército de Tierra de los Estados Unidos (1986)⁸², los resultados de este estudio son esencialmente importantes.

Generalmente, durante el adiestramiento militar se emplean métodos isocinéticos, isométricos, y de trabajo en circuito^{200, 201, y 202}, evidenciándose en los distintos estudios un incremento medio en la fuerza de los miembros superiores entre el 20 y el 50 %.

Kraemer y cols (1988)²⁰⁴ encontraron incrementos en la fuerza muscular en "press de banca" entre el 26 y el 38 %. En la mayor parte de los casos analizados se destacaba que el régimen óptimo de entrenamiento se encontraba entre 2 y 10 repeticiones diarias (RM), cuando se quería obtener fuerza dinámica máxima. A partir de 20 RM la mejoría comienza a disminuir. Cuando el conseguir incremento de la fuerza muscular tiene una importancia especial se recomienda no superar mas de 10 RM.

El ACSM²⁰⁵ sugiere un mínimo de 8 a 10 ejercicios, que impliquen al mayor número posible de músculos, al menos 2 veces por semana. Debería completarse al menos un ciclo completo de 8 a 12 repeticiones de cada ejercicio, que produzca fatiga. Este esquema debería respetarse también en las Fuerzas Armadas durante los programas de entrenamiento de las tropas.

Marcinik y cols. (1987)¹⁶⁵ evaluaron el efecto del entrenamiento en circuito, comparándolo con el entrenamiento de carrera, en la mejoría de la ejecución de

tareas militares en un buque de la Armada de los Estados Unidos. Las tareas militares que se seleccionaron fueron el arrastre de maniqués, abrir y asegurar una puerta hermética al agua, y acarrear un bote de pintura. Observaron que mientras que el entrenamiento mejoraba sustancialmente la fuerza y la condición física en general, no se apreciaban mejorías significativas en la ejecución de las tareas cotidianas a bordo. Hay muy pocos estudios que versen sobre este aspecto. Concluían señalando que no se trataba de un ejercicio suficientemente específico como para mejorar el rendimiento de trabajo. La inclusión en nuestro estudio de un test de campo, tuvo como finalidad un acercamiento práctico a las tareas cotidianas del combatiente, en cuanto a la exigencia física.

Knapik y cols. (1990)²¹² evaluaron la efectividad de diferentes programas de entrenamiento para mejorar el rendimiento de la marcha con carga en carretera. Un programa de entrenamiento físico de 9 semanas de duración, que se establecía sobre 4 grupos de estudio, proporcionaba una serie de ejercicios semejantes (carrera, entrenamiento de fuerza y entrenamiento interválico), y la única diferencia era el volumen de entrenamiento de marcha con carga en carretera. Si bien todos los soldados mejoraron sensiblemente su condición física, únicamente aquellos que hacían marchas al menos dos veces por mes, mejoraban su rendimiento hasta realizar 20 km con 46 kg de carga.

Kraemer y cols. (1987)²¹³ evaluaron el efecto del entrenamiento de fuerza y el entrenamiento aeróbico sobre un ejercicio de 3,2 km llevando 45 kg de carga. Los

soldados fueron distribuidos al azar aplicando en unos un entrenamiento intensivo de fuerza, a otros un entrenamiento aeróbico intensivo, y al tercer grupo un entrenamiento mixto. El entrenamiento se hacía 4 veces por semana, a lo largo de 12 semanas. Las marchas con carga no formaban parte de entrenamiento. Los resultados demostraron que era necesaria la combinación de trabajo aeróbico con trabajo de fuerza muscular para mejorar el rendimiento, que lo hacía en un 13 %, para el tipo de ejercicio descrito. La fuerza muscular del tren superior parecía tener una mayor importancia en la influencia sobre el rendimiento general, siendo en nuestra opinión esta conclusión especialmente importante en relación a nuestros resultados.

Sharp y cols. (1989)₂₁₄ más tarde, inciden en algo semejante. Estudian el efecto de un entrenamiento progresivo de fuerza sobre la capacidad de levantar pesos de manera repetida. La tarea consistía en levantar una caja de 41 kg hasta un estante a la altura de pecho el mayor número posible de veces en 10 minutos. El entrenamiento de fuerza se realizaba 3 veces a la semana a lo largo de 12 semanas e incluía tanto ejercicio de fuerza sin resistencia, como trabajo con máquinas de gimnasio. El grupo entrenado mejoraba notablemente su rendimiento, consiguiendo pasar de 79 a 92 veces (12 %), mientras que no se apreciaron diferencias significativas en el grupo control. Los autores insisten en que los programas progresivos de entrenamiento en fuerza son especialmente útiles cuando se busca una mejoría inespecífica, si bien es preciso concretar más el programa cuando buscamos un entrenamiento selectivo de una determinada actividad.

Estos estudios indican que ambos elementos: tanto el entrenamiento general básico, como el entrenamiento específico de fuerza y resistencia han de formar parte de la instrucción militar, pero es preciso realizar investigaciones mas amplias a fin de perfilar la combinación óptima de estos elementos.

Los resultados de nuestra investigación revelan que el entrenamiento estandar realizado por nuestros soldados, se mostró eficaz en la mejora de la fuerza global del soldado y también de su flexibilidad. Sin embargo, el trabajo físico realizado no permitió una mejora clara de la fuerza global de los miembros superiores, ni de los músculos de la espalda. Por tanto, y dada la aportación que estos grupos musculares tienen para toda maniobra de combate, parece lógico sugerir por nuestros resultados, modificaciones en los programas de entrenamiento, con una mayor insistencia del entrenamiento de la fuerza muscular, especialmente de miembros superiores y espalda, para tratar de alcanzar el perfil fisiológico óptimo en estos soldados.

5.4. VALORACIÓN ANAERÓBICA

A lo largo del estudio de valoración anaeróbica mediante el test de Wingate hemos apreciado una mejoría de la Potencia Media en torno al 5-10 %, al aumentar la distancia media recorrida cada 5 segundos desde $58,58 \pm 6,62$ m, hasta $61,57 \pm 6,15$ m ($p < 0.01$).

Sin embargo no obtuvimos modificaciones significativas en lo que respecta a la Potencia Pico, es decir a la distancia recorrida en el período de 5 segundos, dentro de los 30 que dura la prueba, pasando de $75,65 \pm 10,91$ (antes del Período de Instrucción Básico: PIB), a $77,90 \pm 11,33$ m (después del PIB).

El Índice de Fatiga presentó una mejoría del 9,86 %, al disminuir entre el $42,78 \pm 12,10$ % y el $38,56 \pm 10,78$ %

En las Fuerzas Armadas se han realizado estudios de condición anaeróbica, de los cuales ya han sido descritos en capítulos anteriores la mayor parte de ellos, no obstante parece digno se resaltar aquí la evaluación que Patton y cols (1987) realizó sobre los diferentes métodos₃₄. En nuestro conocimiento no hay estudios realizados con este tipo de soldados, en nuestras Fuerzas Armadas.

Es interesante resaltar el estudio de Knapik y cols (1991)₄₀ en el cual describe como tras un ejercicio aeróbico de gran intensidad, consistente en una marcha forzada, se puede objetivar una sensible reducción en el rendimiento anaeróbico, determinado mediante un ejercicio de lanzamiento de granadas. Estos hallazgos pueden ser interpretados como el resultado de la instauración de una fatiga de efectuación, destacando la importancia que una buena condición física aeróbica puede tener en el rendimiento anaeróbico en la acción de combate.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio en cuanto al perfil y evolución del rendimiento anaeróbico, son próximos a los de la fuerza muscular y reflejan una mejora significativa de la capacidad anaeróbica si bien no en la potencia. Esto probablemente

refleje el hecho de que el entrenamiento realizado por nuestros reclutas se haya decantado fundamentalmente por la potencia y capacidad aeróbica, por lo que la potencia anaeróbica no mejoró, al ser el aumento específico del entrenamiento anaeróbico el principal estímulo de mejora de esta capacidad. El hecho de que la capacidad anaeróbica haya mejorado significativamente, junto con la fuerza muscular, nos sugiere que el propio entrenamiento de fuerza realizado junto con el trabajo aeróbico, puedan justificar dicho comportamiento. Quizá la inclusión de un entrenamiento anaeróbico más específico en el Programa de preparación física de estos soldados pudiera mejorar significativamente esta cualidad.

5.5. ANTROPOMETRÍA

En el estudio antropométrico hemos de señalar fundamentalmente un incremento del peso muscular y una reducción en el peso graso.

El peso muscular, que aumentó desde $34,29 \pm 3,77$ kg (48,58 % del peso total) hasta $36,52 \pm 3,49$ kg (51,02 % del peso total), supone un incremento medio en torno al 6,50 % ($p < 0.001$).

El peso graso disminuyó desde $9,51 \pm 3,43$ kg (13,47 % del peso total) hasta $8,74 \pm 2,28$ kg (12,21 % del peso total), con un descenso medio en torno al 8,10 % ($p < 0.05$).

Conocemos que la composición corporal se relaciona directamente con la condición física y con el grado de aptitud física del personal militar, según demuestran Lee y cols. (1994) o Everett y cols. (1987)^{229 y 230}. Es por esto por lo que el exceso de peso ha sido una constante entre las preocupaciones del Mando militar en todos los países. Ejemplo de ello es el Plan de Prevención Cardiovascular de las Fuerzas Armadas de España, desarrollado en el Hospital Militar "Generalísimo Franco" de Madrid²⁵⁷, o el Plan de Control de Peso del Ejército de Tierra de los Estados Unidos, publicado por Sweeney y cols. (1990)²³¹.

Freihofer y cols. (1990)²³², en un estudio con soldados del Ejército de Tierra norteamericano, atribuye una importante correlación entre la composición corporal y la condición física, así como con la calidad de salud, sin embargo no obtiene correlación con los trastornos psicósomáticos ni con el grado de motivación personal.

Parece evidente que, en general, cuanto menos pese una persona tanto más sencillo resultará su movilidad, siendo este hecho de especial importancia en la población militar, sobre todo si se alcanza un nivel de fuerza suficiente en todo el organismo.

Si lo consideramos exclusivamente en términos de salud, sería aconsejable situarnos entre el 10 y el 20 % para varones, y entre el 20 y el 30 % para mujeres. Sin embargo cuando de la condición física se trata, los márgenes deseables son más estrechos^{227 y 233}: en varones estaría en torno al 12 %, y el 18 % para mujeres. Lógicamente, habría una cierta diferencia en función de la actividad física que fuesen

a realizar los militares de los que se trate.

Existen estudios clásicos, desde los años cincuenta, como los de Pascale y cols. (1956)²³⁴, que analizan las modificaciones de la composición corporal en soldados. Éstos, y algunos posteriores como los de Conway y cols. (1980, 1981 y 1989)²³⁵, estudiando marineros norteamericanos, definen una serie de parámetros antropométricos, que consideran muy adecuados para este tipo de evaluaciones, entre militares. Revisiones semejantes ya se habían realizado anteriormente por Wright y cols. (1980 y 1981)^{236 y 237}.

Estudios más recientes de Shake y cols. (1993)²³⁸ introducen las determinaciones más comunes empleadas en la actualidad para la evaluación antropométrica en la Armada norteamericana.

En Canadá, Jette y cols. (1989)¹⁷⁸ sugieren que apenas hay diferencias sustanciales en las características antropométricas tras el Período de Instrucción Básico de 10 semanas de duración que allí realizan. Este mismo autor (1990)²⁴⁶ ofrece un amplio estudio antropométrico, realizado sobre personal del Ejército canadiense, donde describe las modificaciones que encuentra en la composición corporal, y como éstas van acorde con una mejora de la condición física general.

También en Canadá, Song y cols. (1989)²⁰⁹ evaluaron un grupo de infantes, desde el punto de vista antropométrico y de condición física general, observándose diferencias con respecto a una mejor composición corporal, pero no así con respecto a la condición física general.

Nuestros resultados, muestran una modificación significativa de la composición corporal de nuestros soldados después del período de instrucción establecido. El hecho de que se reduzca el peso graso, pero manteniendo el peso total, se puede interpretar como de eficacia del programa de entrenamiento realizado (fundamentalmente aeróbico), y también de la dieta seguida por los soldados. Estas modificaciones son lo bastante beneficiosas, no solo por el perfil idóneo del combatiente, sino también desde un punto de vista de la salud de la persona. En nuestro conocimiento, es el primer estudio que se realiza en este sentido en nuestras Fuerzas Armadas.

5.6. ESPIROMETRÍA

En el estudio espirométrico en reposo obtenemos una mejoría de la Capacidad Vital Forzada del 3,98 % ($p < 0.001$), y en torno al 2,5 % del Volumen Espirado en el Primer Segundo ($p < 0.05$).

Aunque no hay estudios realizados con personal militar que específicamente hayan evaluado las modificaciones de los parámetros correspondientes a los volúmenes pulmonares estáticos, clásicamente se ha considerado que estos volúmenes están en gran parte determinados de forma genética, y por tanto parece que el entrenamiento modificaría poco los valores previamente establecidos.

Podemos considerar pues que las mejoras halladas en nuestro estudio pueden

ser justificadas por una optimización de la técnica en la realización de la exploración espirométrica.

5.7. TEST DE CAMPO

Los resultados del Test de Campo ($p < 0.01$) ofrecían una mejoría en el Tiempo Total de Ejecución en torno al 13,29 %, al reducirse éste desde 617 ± 86 a 535 ± 67 segundos. Esto refleja de forma práctica la mejora de las cualidades de potencia y capacidad aeróbica, durante un ejercicio práctico, en el que participan la mayor parte de las cualidades fisiológicas del individuo, y que puede ser semejante a un ejercicio táctico realizado por el combatiente en el teatro de operaciones.

En nuestra opinión, las mejoras obtenidas en este test, refleja la suma de los aumentos de las cualidades fisiológicas del soldado de estas unidades.

5.8. ESTUDIOS ANALÍTICOS BIOQUÍMICOS

De todas las pruebas efectuadas, hemos de resaltar el efecto cardiosaludable de la elevación en un 10,87 % de los niveles de HDL-Colesterol (desde $48,1 \pm 9,47$ mg·dl⁻¹ hasta $53,33 \pm 11,77$ mg·dl⁻¹).

Sin embargo las cifras totales de Colesterol aumentaron un 9,49 % (entre $159,98 \pm 21,13$ mg·dl⁻¹, y $175,17 \pm 22,68$ mg·dl⁻¹); así como las de LDL-Colesterol, que lo hicieron en un 8,17 % (entre $100,24 \pm 19,05$ mg·dl⁻¹, y $108,43 \pm 18,28$ mg·dl⁻¹).

Las cifras de triglicéridos, hierro, y otros patrones hematológicos y bioquímicos no presentaron modificaciones significativas.

La actividad física suele relacionarse con elevaciones del HDL-Colesterol₂₅₉, y según destacábamos en un estudio anterior (1986)₂₅₈ esto puede extrapolarse a la instrucción militar. En el citado estudio resaltábamos que sería conveniente disminuir la proporción de grasas saturadas en la dieta del soldado, para contribuir sinérgicamente al efecto cardiosaludable del entrenamiento.

CONCLUSIONES

6.1. Principal

El programa de instrucción física que se lleva a cabo en las Unidades de Élite de las Fuerzas Armadas Españolas es **eficaz** en la mejora de las cualidades fisiológicas del soldado.

6.2. Secundarias

- 6.2.1. Se evidencia una elevada capacidad funcional del soldado antes de la incorporación a estas unidades, lo que parece reflejar una selección previa de los sujetos, o una preparación física intensa antes de solicitar el destino.
- 6.2.2. Encontramos una mejora significativa de la potencia y la capacidad aeróbica.
- 6.2.3. Aunque la fuerza muscular mejoró significativamente durante el período de entrenamiento, parece recomendable por los resultados obtenidos, incrementar los ejercicios de brazos y espalda durante estos programas de instrucción.
- 6.2.4. Siendo los resultados obtenidos, en cuanto al perfil y evolución del rendimiento anaeróbico, próximos a los de la fuerza muscular, y por tanto reflejo de la

mejoría de la capacidad anaeróbica, parece recomendable la inclusión de algún ejercicio anaeróbico adicional.

6.2.5. La optimización de la masa corporal representa tanto un incremento del nivel de salud, como un perfil adecuado para nuestros soldados.

6.2.6. Encontramos un perfil lipídico adecuado, con un efecto cardiosaludable por parte del entrenamiento.

6.2.7. La mejoría obtenida en el test de campo refleja la suma de los aumentos de las cualidades fisiológicas del soldado de estas Unidades.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chinchilla, J. L. "La Escuela Central de Educación Física de Toledo (1919 - 1981)". Tesis doctoral. Departamento de Teoría e Historia de la Educación. Universidad de Málaga 1991.
2. McDonald, D.G. Norton, J.P. Training success in U.S. Navy Special Forces. *Aviat. Space Environ. Med.* 61: 548-54. 1990.
3. Kowal, D.J. Patton, J. Psychological states and aerobic fitness of male and female recruits before and after basic training. *Aviat. Space Environ. Med.* 49: 603-6. 1978.
4. Moragues, A. Gil Vernet, S. Hernández, P. Linares, F. Estudio sobre la supervivencia del XXII Curso Superior de Operaciones Especiales. *Apuntes de Medicina Deportiva.* 131: 16, 63. 1979.
5. Wintermeyer, S.F. The inpatient experience of a U.S. Army Combat Support Hospital in the Persian Gulf during non-combat and combat periods. *Milit. Med.* 159 (12): 746 - 51. 1994.
6. Gunby, P. Somali operation just one of many demands on U.S. military medicine. *JAMA* 269:11-2. 1993.
7. Rubinstein, D.A. Health service support and the principles of war. *Milit. Med.* 153: 145-6. 1988.
8. Gunby, P. Marwick, C. Fifth week of Desert Storm fighting brings new challenges for medicine. *JAMA.* 265: 833. 1991.
9. Blanck, R.R. Bell, W.H. Medical support for American troops in the Persian Gulf. *N. Engl. J. Med.* 324: 857-9. 1991.
10. Gunby, P. Marwick, C. Military medical equipment, techniques often require years of preparation. *JAMA* 265: 1791-7. 1991.
11. Gunby, P. Service in strict Islamic nations removes alcohol, other drugs from major problem list. *JAMA* 265: 560-2. 1991.
12. Byerly, W.G. Pendse, P.D. War surgery in a forward surgical hospital in Vietnam: a continuing report. *Milit. Med.* 136: 221-6. 1971.

13. McCaughey, B.G. Garrick, J. Naval Support Activity Hospital. Danang combat casualty study. *Milit. Med.* 153: 109-14. 1988.
14. Sebasta, D. Experience as the Chief of Surgery at the 67th Evacuation Hospital Republic of Vietnam 1968-69. *Milit. Med.* 155:227. 1990.
15. Arnold, K. Cutting, R.T. Cause of death in United States military personnel hospitalized in Vietnam. *Milit. Med.* 143: 161-4. 1978.
16. Gunby, P. Another war...and more lessons for medicine to ponder in the aftermath. *JAMA* 266:619-21. 1991.
17. Baker, M.S. Strunk, H.K. Medical aspects of Persian Gulf operations: serious infectious and communicable diseases of the Persian Gulf and Saudi Arabia peninsula. *Milit. Med.* 156: 385-90. 1991.
18. Gasser, R.A. Magill, A.L. The threat of infectious diseases in Americans returning from Operation Desert Storm. *N. Engl. J. Med.* 324: 859-64. 1991.
19. Hyams, K.C. Bourgeois, A.L. Diarrheal disease during Operations Desert Shield. *N. Engl. J. Med.* 325:1423-8. 1991.
20. Gundy, P. Environment adds to challenges facing Desert Shield physicians. *JAMA* 265: 435-40. 1991.
21. Baker, M.S. Strunk, H.K. Medical aspects of Persian Gulf Operations: environmental hazard. *Milit. Med.* 156:381-5. 1991.
22. Dougherty, P.J. Armored vehicle crew casualties. *Milit. Med.* 155: 417-20. 1990.
23. La Tourette, G. Combat medicine in Afghanistan. *Milit. Med.* 155: 231-2. 1990.
24. Anónimo. Heatstroke and Army training [letter]. *Lancet* 1(8596): 1222. 1988.
25. Knapik, J. Daniels, W. Physiological factors in infantry operations. *Eur. J. Appl. Physiol.* 60: 233-8. 1990.

26. Dubik, J.M. Fullerton, T.D. Soldier overloading in Grenada. *Mil. Rev.* 67: 38-47. 1987.
27. Haslam, D.R. The military performance of soldiers in sustained operations. *Aviat. Space Environ. Med.* 55: 216-21. 1984.
28. Knapik, J.J. Wright, J.E. The influence of U.S. Army Basic Initial Entry Training on the muscular strength of men and women. *Aviat. Space Environ. Med.* 51: 1086-90. 1980.
29. Legg, S.J. Patton, J.F. Effects of sustained manual work and partial sleep deprivation on muscular strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56:65-8. 1986.
30. McCaig, R.H. Gooderson, C.Y. Ergonomic and physiological aspects of military operations in a cold wet climate. *Ergonomics* 29: 849-57. 1986.
31. Opstad, P.K. Aakvaag, A. The effect of a high calory diet on hormonal changes in young men during prolonged physical strain and sleep deprivation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 46: 31-9. 1981.
32. Opstad, P.K. Aakvaag, A. The effect of sleep deprivation on the plasma levels of hormones during prolonged physical strain and calorie deficiency. *Eur. J. Appl. Physiol.* 51: 97-107. 1983.
33. Armstrong, L.E. Szlyk, P.C. Prediction of the exercise-heat tolerance of soldiers wearing protective overgarments. *Aviat. Space Environ. Med.* 62: 673-7. 1991.
34. Goldman, R.F. Tolerance time for work in the heat when wearing CBR protective clothing. *Milit. Med.* 128: 776-86. 1963.
35. Rognum, T.O. Vartdal, F. Physical and mental performance of soldiers on high and low energy diets during prolonged heavy exercise combined with sleep deprivation. *Ergonomics* 29: 859-67. 1986.
36. Burch, G.R. Physical Training. *Milit. Med.* 156: A 14. 1991.
37. Armstrong, L. Hubbard, R. Non-conventional remission of miliaria rubra during heat acclimation: a case report. *Milit. Med.* 153: 402-4. 1988.

38. Assia, e. Epstein, Y. Fatal heatstroke after a short march at night: a case report. *Aviat. Space Environ. Med.* 56: 441-2. 1985.
39. Taylor, M.S. Cold weather injuries during Peacetime Military Training. *Milit. Med.* 157: 602-4. 1992.
40. Knapik, J. Reynolds, K. Soldier performance and mood states following a strenuous road march. *Milit. Medicine*, 156: 197-200. 1991.
41. Dougherty, P.J. Armored vehicle crew casualties. *Milit. Med.* 155: 417-20. 1990. *5-2/31
42. Niinimaa, V. McAvoy, T. Influence of exercise on body sway in the standing rifle shooting position. *Can. J. Sports Med.* 8: 30-3. 1983.
43. Snoddy, R.O. Henderson, J.M. Predictors of basic infantry training success. *Milit. Med.* 159: 616. 1994.
44. Milgrom, C. Giladi, M. Stress fractures in military recruits: a review of twelve years' experience. *Milit. Med.* 131:716-21. 1966.
45. Brudvig, T.J. Gudger, T.D. Stress fractures in 295 trainees: a one year study of incidence as related to age, sex, and race. *Milit. Med.* 148:666-7. 1983.
46. Stacy, R.J. Hungerford, R.L. A method to reduce work-related injuries during basic recruit training in the New Zealand Army. *Milit. Med.* 149:318-20. 1984.
47. Reinker K.A. Osborne, S. A comparison of male and female orthopedic pathology in basic training. *Milit. Med.* 144: 532-6. 1979.
48. Knapik J., Reynolds K. Injuries associated with strenuous road marching. *Milit. Med.* 157: 64-7. 1992.
49. Jones, B.H. Bovee, M.W. Associations among body composition, physical fitness, and injury in men and women Army trainees. Pub. in "Body composition and Physical Performance" p 141-73. 1992. (49) *5-51
50. Jones, B.H. Cowan, D.N. Epidemiology of injuries associated with physical training among young men in the Army. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 197-203 . 1993. (50) *5-5

51. Dänlstrom, S. Kujala, U.M. Anthropometry and knee exertion injuries incurred in a physical training program. *J. Sports Med. Phys.* 30: 190-3. 1990.
52. Kujala, U.M. Kvist, M. Factors predisposing Army conscripts to knee exertion injuries incurred in a physical training program. *Clin. Orthop.* 210: 203-12. 1986.
53. Knapik, J. Ang, P. Reynolds, K. Physical fitness, age, and injury incidence in Infantry soldiers. *Journal of Occupational Medicine* 35: 598-603. 1993.
54. Armfield, F. Preventing Post-traumatic stress disorder resulting from Military Operations. *Milit. Med.* 159. 12:7 39 45. 1994.
55. Hakkinen, K.A., P.V. Komi. Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force time, muscle fiber and metabolic characteristics of extensor muscles. *Scan. Journal of Sports Science* 3:50-58 1981.
56. Stokes, J. Psychiatry and war [letter to the editor]. *Milit. Med.* 158: A 6-8. 1993.
57. Schelenger, W.E. Kulka, R.A. The prevalence of post-traumatic stress disorder in the Vietnam generation: a multimethod, multisource assesment of psychiatric disorder. *J. Traumatic Stress*: 5(2): 333. 1992.
58. Camp, N.M. The Vietnam war and ethics of combat psychiatry. *Am. J. Psychiatry*: 150(7): 1000 - 10. 1993.
59. Jones, B.H. Overuse injuries of the lower extremities associated with marching, jogging, and running: a review. *Milit. Med.* 148: 783-7. 1983.
60. Tomlinson, J.P. Lednar, W.M. Risk of injury in soldiers. *Milit. Med.* 152: 60-4. 1987.
61. Anónimo. Local cold weather injury-menace to military operations: areview. *Milit. Med.* 145: 305-11. 1980.
62. Miller, D. Bjornson, D.R. An investigation of cold injured in Alaska. *Milit. Med.* 127: 247-52. 1962.

63. Dick, H.J. Prevention of cold injuries on exercises with the allied military force (land) in North Norway. *Med. Corps Int.* 6: 41-7. 1989.
64. King, N. Mutter, S.H. Cold weather field evaluation of the 18-man Arctic tray pack ration module, the meal, ready-to-eat, and the long life ration packet. *Milit. Med.* 158: 458-65. 1993.
65. Cowan, D., B. Jones, P. Tomlinson, B. Robinson and P. Frykman. The epidemiology of physical training injuries in US army infantry trainees; methodology, population and risk factors. Report No T4-89, US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, MA, USA, 1988.
66. Van Hoof, R. Dubois, P. Predictability of the individual outcome of a physical training program of an Army Special Forces Unit. *Milit. Med.* 157: 207. 1992.
67. O'Connor, J.S. Bahrke, M.S. 1988 active Army physical fitness survey. *Milit. Med.* 155:579-85. 1990.
68. Ellam, I.D. Fieldman, G.B. Initial training as a stimulus for optimal physical fitness in firemen. *Ergonomics* 37:933-41. 1994.
69. Neuffer, P.D. The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. *Sports Med.* 8: 302-20. 1989.
70. Dembert, M.I., Jekel, J.F. Weight-Height Indices and percent body fat among U.S. Navy divers. *Aviat. Space Environ. Med.* 55: 391-5. 1984.
71. Korolev, A.S. (abstract) The use of the experience of hygienic support for the troops during World War II in the training process. *Voen Med. Zh.* May (5) 75-6, 80, 1995.
72. Aizawa, H., Morita, K. Exertional rhabdomyolysis as a result of strenuous military training. *J. Neurol. Sci.* 132(2) p239-40. 1995.
73. Rubinstein, A., Burstein, R. Lipoprotein profile changes during intense training of Israeli military recruits. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27(4) 480-4, 1995.
74. Marciniak, E.J. Hyde, D.E. The Relationship between the U.S. Navy fleet diver physical screening test

and job task performance. *Aviat. Space Environ. Med.* 66(4) 320-4 1995.

75. Rothberg, J.M., Koshes, R.J. Mobilization and rejection of Individual Ready Reserve personnel in Operations Desert Shield/Storm at a U.S. Army Quartermaster post. *Mil. Med.* 160(5) 240-2. 1995.

76. Gambera, P.J., Schneeman, B.O. Use of the food Guide Pyramid an U.S. dietary intake and reduce cardiovascular risk in active-duty Air Force J. Am. Diet Assoc. 95(119) 1268-73. 1995.

77. Orava, S., Hulkko, A. Stress fractures in athletes and military recruits (abstract). *Orthopade* 24(5) 457-66. 1995.

78. Foulkes, G.D. Orthopedic casualties in an activated National Guard Mechanized Infantry Brigade during Operation Desert Shield. *Mil. Med.* 160(3) 128-31. 1995.

79. López Chicharro, J.L., Fernández Vaquero, A. *Fisiología del Ejercicio. Panamericana.* 1995.

80. Vinuesa López, M. *La Escuela de Gimnasia de Toledo. Excma. Diputación de Toledo.* 1995.

81. Fernández Vaquero, A. Valoración funcional ergoespirométrica del paciente con trasplante cardíaco. Tesis doctoral. Facultad de Medicina de la Univ. Complutense de Madrid. 1995.

82. *Physical Fitness in Armed Forces. RSG4 Final Report. NATO Defence Research Group, Document AC/243 (Panel VIII)/ RSG.4, Brussels, 1986.*

83. Mc Ardle, W.D., Katch, F.I. *Exercise physiology. Energy, nutrition and human performance.* 3rd edition. Philadelphia: Lea & Fabiger. 1991.

84. Astrand, P.O., Rodahl K. *Textbook of work physiology. physiological bases of exercise.* New York: Mc Graw Hill Book Company. 1986.

85. Wasserman, K., Mc Ilroy, M.B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am. M. Cardiol.* 14: 844-52. 1964.

86. Álvarez, J. *Percepción Subjetiva del Esfuerzo. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina de la Universidad*

Complutense de Madrid. 1994.

87. Maughan, R.J. A simple , rapid method for the determination of, glucose, lactate etc, on a single 20 μ l blood sample. *Clin. Chemical Acta*, 122: 231 - 40. 1982.

88. Buchanan, M., Weltman, A. Effects of pedal frequency on VO_2 and work output at lactate threlhold, fixed blood lactate concentration of 2 mM and 4 mM, and max in competitive cyclists. *Int J Sports Med*, 6 163 - 68. 1985.

89. Hartung, G.H. Krock, L.P. Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal exercise testing in aerobically fit and nonfit men. *Aviat. Space Environ. Med.* 64: 735-40. 1993.

90. Smith, M.L. and J.H. Mitchell. Cardiorespiratory Adaptations to Training. In: S.N. Blair, P. Painter, R.R. Pate, L.K. Smith, C.B. Taylor (Eds.), *Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription* Philadelphia: Lea and Febiger, p. 62, 1 988.

91. Saltin, B., B. Blomqvist, J.H. Mitchell, R.L. Johnson, Jr., K. Wildenthal, and C.B. Chapman. Response to submaximal and maximal exercise after bed rest and training. *Circulation* 38:(suppl. 7), 1 968.

92. Keul, J., H.H. Kickhuth, G. Simon, M. Lehmann. Effect of static and dynamic exercise on heart volume, contractility, and left ventricular dimensions. *Circulation Research* 48 1162-1170, 1981.

93. Brodal, P., F. Ingjer, and L. Hermansen. Capillary supply of skeletal muscle fibers in untrained and endurance-trained men. *American Journal of Physiology (Heart Circulation Physiology)* 232:H705-H712, 1977.

94. Beulieu, J.E. Developing a Stretching Program. *Physician and Sportsmedicine* 9:59-61, 1981.

95. Sale, D.G. , J.D. MacDougall, I. Jacobs, and S. Garner. Interaction between concurrent strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology* 68 260-270, 1990.

96. Johnson, M.J. Friedl, K.E. Loss of muscle mass is poorly reflected in grip strength performance in healthy young men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 235-40. 1994.

97. Martin III, W.H. E.F. Coyle, M.A. Bloomfield and A.A. Ehsani. Effects of physical deconditioning after intense endurance training on left ventricular dimensions and stroke volume. *Journal of the American College of Cardiology* 7 982-989, 1986.
98. Anderson, P. and J. Henriksson. Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *Journal of Physiology* 270:677-690, 1977.
99. Klausen, K, L.B. Andersen and Pelle. Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica* 13:9-16, 1981.
100. Rowell, L. B. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews* 54 75-159, 1974.
101. Saltin, B., G. Blomqvist, J.H. Mitchell, R.L. Johnson, K. Wildenthal and C.B. Chapman. Response to exercise after bed rest and after training. *Circulation* 7 (Supplement):1-68, 1 968.
102. Bouchard, C. and G. Lortie. Heredity and endurance performance. *Sports Medicine* 1 38-64, 1984.
103. Lortie, G., J.A. Simoneau, P. Hamel, M.R. Boulay, F. Landry and C. Bouchard. Responses of maximal aerobic power and capacity to aerobic training. *International Journal of Sports Medicine* 5 232-236, 1984.
104. Daniels, W.L. Kowal, D.M. Physiological effects of a military training program on male and female cadets. *Aviat. Space Environ. Med.* 50: 562-6. 1979.
105. Cote, R.W. III, Bomar, J.B. Maximal aerobic power in woman cadets in U.S. Air Force Academy. *Aviat. Space Environ. Med.* 48: 154-7. 1977.
106. Harger, B.S. Ellis, R.P. Cardio-respiratory fitness in U.S. Air Force Academy cadets. *Aviat. Space Environ. Med.* 46: 1144-6. 1975.
107. Kowal, D.M. Vogel, J.A. Comparisons of strength and endurance training on aerobic power in young women. *Med. Sci. Sport* 9:707. 1977.
108. Vogel, J.A. Ramos, M.U. Comparisons of aerobic power and muscle strength between men and

women entering the U.S. Army. *Med. Sci. Sports* 9:58, 1977.

109. Calvo, F. Determinación del umbral anaeróbico mediante análisis de saliva. Tesis doctoral. Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid. 1993.

110. Lewis, D.A., E. Kamonand J.L. Hodgson. Physiological differences between genders, implication for sport conditioning. *Sports Medicine* 3 357-369, 1986.

111. Dehn, M.M. and R.A. Bruce. Longitudinal variations in maximal oxygen uptake with age and activity. *Journal of Applied Physiology* 33:805-807, 1972.

112. Robinson, S., D.B. Dill, S.P. Tzankoff, J.A. Wagner and R.D. Robinson. Longitudinal studies of aging in 37 men. *Journal of Applied Physiology* 38 263-267, 1975.

113. Schulman, S.P. and G. Gerstenblith. Cardiovascular changes with aging: the response to exercise. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation* 19:12, 1989.

114. Grimby, G. Physical activity and muscle training in the elderly *Acta Med Scand (Supplement)* 711:233-237, 1986.

115. Boileau, R.A., Mayhew, J.L. Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. *Can. J. Appl. Sports Sci.* 7, 167, 1982.

116. Svedenhag, J., Sjödin, B. Maximal and submaximal oxygen uptakes and blood lactate levels in elite male middle- and long- distance runners, *Int. J. Sports Med.* 5, 255, 1984.

117. Viru, A. *Adaptation in Sports Training*, CRC Press, Boca Ratón, EEUU 1995.

118. Lortie, G., Simoneau, J.A. Responses of maximal aerobic power and capacity to aerobic training. *Int. J. Sports Med.* 5, 232, 1984.

119. Hickson, R.C. Rosenkoetter, M.A. Strength training effects on aerobic power and short term endurance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12, 336, 1980.

120. Smith, B.W., Mc Murray, R.G. A comparison of the anaerobic threshold of sprint and endurance trained swimmers, *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 24, 94, 1984.
121. Daniels, J.T. A physiologist's view of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17, 332, 1985.
122. Newsholme, E.A. Application of principles of metabolic control to the problem of metabolic limitations in sprinting, middle-distance, and marathon running. *Int. J. Sports Med.* 7 (Suppl), 66, 1986.
123. Snoecx, L.H., Abeling, H.F. Echocardiographic dimensions in athletes in relation to their training programs. *Med. Sci. Sports Exerc.* , 14, 428, 1982.
124. Wetzler, H.P. Cruess, D.F. aerobic capacity of selected young Air Force officers and officer candidates. *Physician Sports Med.* 12: 131-4. 1984.
125. Jones, N.L., McCartney. Influence of muscle power on aerobic performance and the effects of training. *Acta Med. Scan.* 711, 115, 1986.
126. Allen, C.L. and W.E.Tatarchuk. Effect of military training on the aerobic power and selected anthropometric measures of officers cadets attending Canadian Forces Officers Candidate School, Canadian Forces Training Command, Ottawa. December 1971.
127. Hartlingns U. The effects of the first three months of military service on the physical work of conscripts. *Forvarsmedicin* 11, 213-18. 1975.
128. Stacy, R.L., R.L. Hungerford and B.T. McMahon. The effect of basic training on aerobic capacity and body fat in New Zealand Army recruits. *New Zealand Medical Journal* 22 876-878, 1982.
129. Viitasalo, J.T. and M. Vainikka. Effects of five months conscription on physical fitness of 75 recruits. *Journal of Sports Medicine* 22:95-101, 1982.
130. Vogel, J.A. J.P. Crowdy, A.F. Amor and D.E.Worsley. Changes in aerobic fitness and body fat during army recruit training. *European Journal of Applied Physiology* 40 37-43 ,1978 .
131. van Dijk, M.J. Training injuries in Dutch Army conscripts; identification of risk factors (part 1). Training

- Injuries in Dutch army conscripts the effectiveness of prevention (part2). Training injury prevention campaign in the Royal Dutch Army (part 3). Technical presentation, NATO AC/243 Panel 8, Research Study Group 17 Biomedical Aspects of military training, Ed-monton, July 1991.
132. Vogel, J.A., M.U. Ramos and J.F. Patton. Comparisons of aerobic power and muscle strength between men and women entering the U.S. army (Abstract). *Medicine and Science in Sports* 9:58, 1977.
133. Daniels, W.L., J.A. Vogel and D.M. Kowal. Fitness levels and response to training of women in U.S. Army. NATO RSG-4 Symposium on Physical Fitness with Special Reference to Military Forces, Toronto, April 1978.
134. Patton, J.F., W.L. Daniels and J.A. Vogel. Aerobic power and body fat of men and women during Army basic training. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 51:492-496, 1980.
135. Teves, M.A., J.E. Wright and J.A. Vogel. Performance on selected candidate screening test procedures before and after army basic and advanced individual training. US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, MA, USA. Report No.3/85, 1985.
136. Myles, W.S. Allen, C.L. A survey of aerobic fitness levels in a Canadian military population. *Aviat. Space Environ. Med.* 50: 813-5. 1979.
137. Bahr, R. Opstad, P.K. Strenuous prolonged exercise elevates resting metabolic rate and causes reduced mechanical efficiency. *Acta Physiol. Scand.* 141: 555-63. 1991.
138. Cooper, K.H. A means of assessing maximal intake. *JAMA* 203: 201-4. 1968.
139. Viitasalo J.T. Vainikka, M. Effects of five-month conscription on physical fitness of 75 recruits. *J. Sports Med.* 22: 95-101. 1982.
140. Vogel, J.A. Corwidy A.F. Changes in aerobic fitness and body fat during Army recruit training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 40: 37-43. 1978.
141. Vainikka, M. The physical fitness of conscripts at the beginning and at the end of the military basic training period. *Ann. Med. Milit. Fenn.* 53: 19-28. 1978.

142. Baumgartl, P. Mairbaur, H. Ergospirometry and blood lactate data in the assessment of conditioning of soldiers in relation to physical activity within the scope of military service in the Austrian Army. *Wien Med. Wochenschr.*(abstract) 138:433-7. 1988.
143. Cooper, K.H. Zechner, A. Physical fitness in United States and Austrian military personnel. *JAMA* 215: 931-4. 1971.
144. Patton, J.F. Daniels, W.L. Aerobic power and body fat of men and women during Army basic training. *Aviat. Space Environ. Med.* 51:492-6. 1980.
145. Daniels, W.L. Wright, J.E. The effect of two years' training on aerobic power and muscle strength in male and female cadets. *Aviat. Space Environ. Med.* 53: 117-21. 1982.
146. Young, A.J. Sawka, M.N. Role of thermal factors on aerobic capacity improvements with endurance training. *J. Appl. Physiol.* 75: 49-54. 1993.
147. Drabik, J. Porter, V. Aerobic capacity of Polish soldiers. *Milit. Med.* 154: 196-8. 1989.
148. Sharp, J.R. The new Air Force Fitness Test: a field trial assessing effectiveness and safety. *Mil Med*, 156, 4: 181. 1991.
149. Williford, H.N., Sport, K., Wang, N. The prediction of fitness levels of United States Air Force Officers: validation of cycleergometry. *Mil Med*, 159, 3:175, 1994.
150. Lee Chin, D., Blackwood, G.V., Gackstetter, G.D. Ergometry as a predictor of Basic Military Training Success. *Mil. Med* 161(2)p75. 1996
151. Physical Fitness Training US Army Field Manual No.21-20. Washington, D.C.: Headquarters, Department of the Army,30 Sep 1 992.
152. Otree, H.D., B. Corbin, J. Penrod, and C. Smith. Methods of achieving and maintaining physical fitness for prolonged space flight. Final Progress Report to NASA Grant No. NGR-04-002004, 1969.
153. Pollock, M.L., H.S. Miller, A.C. Linnerud, and K H. Cooper. Frequency of training as a determinant for

improvement in cardiovascular function and body composition of middle-aged men. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation* 56:141-145, 1975.

154. Pollock, M.L., L.R. Gettman, C.A. Miles, M.D. Bah, J.L. Durstine, and R.B. Johnson. Effects of frequency and duration of training on attrition and incidence of injury. *Medicine and Science in Sports* 9:31-36, 1977.

155. Karvonen, M., K. Kentala, and O. Mustala. The effects of training heart rate: a longitudinal study. *Annals of Medicine and Experimental Biology* 35:307-315, 1957.

156. Burke, E.J. and B.D. Franks. Changes in bicycle training at different intensities holding total mechanical work constant. *Research Quarterly* 46:31-37, 1975.

157. Kearney, J.T., A.G. Stull, J.L. Ewing, and J.W. Strein. Cardiovascular responses of sedentary college women as a function of training intensity. *Journal of Applied Physiology* 41:822-825, 1975.

158. Wenger, H.A. and G.J. Bell. The interaction of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Medicine* 3:346-356, 1986.

159. Dziados, J., S. Norton and B. Jones. Epidemiology of training injuries in Army Trainees. *Medicine Science of Sports and Exercise* 18:210, 1986.

160. Kowal, D.M. Nature and causes of injuries in women resulting from an endurance training program. *American Journal of Sports Medicine* 8:265-269, 1980.

161. Reinker, K.A. and S. Ozburne. A comparison of male and female orthopaedic pathology in basic training. *Military Medicine* 144:532-536, 1979.

162. Glomsaker, P. Injuries in Norwegian Armed Forces. Technical presentation, NATO AC/243 Panel 8, Research Study Group 17 Biomedical Aspects of military training, Copenhagen 25-29 September 1989.

163. Espirito Santo, J. Training injuries on military academy students (one year experience). Technical presentation, NATO AC/243 Panel 8, Research Study Group 17 Biomedical Aspects of military training, Edmonton July 1991.

164. NATO ORG Panel 8 Research Study Group 17. Biomedical aspects of military training. *Ann Med Mil Belg*, 8(3). 1994.
165. Marcinik, E.J., J.A. Hodgdon, C.E. Englund and J.J. O'Brien. Changes in fitness and shipboard task performance following circuit weight training programs featuring continuous or interval running. *European Journal of Applied Physiology* 56 132-137 1987.
166. Marcinik, E.J., J.A. Hodgdon and R.R. Vickers. The effects of an augmented and the standard recruit physical training program on fitness parameters. Naval Health Research Center, San Diego, CA, Report No. 83-27,1983.
167. Knuttgen, H.G., L.-O. Nordesjo, B. Ollander and B. Saltin. Physical conditioning through interval training with young male adults. *Medicine and Science in Sports* 5:220-226,1973.
168. Vogel, J.A. J.F Patton, R.P. Mello and W.L. Daniels. An analysis of aerobic capacity in a large United States population. *Journal of Applied Physiology* 60 494-500, 1986.
169. Farrel, P.A., Wilmore, J.H. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports*, 11, 338, 1979.
170. Withers, R., Sherman, W., Costill, D. Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners, *Eur. J. Appl. Physiol.* 47, 93, 1981.
171. Denis, C., Fouquet, R. Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold, *Int. J. Sports Med.*, 3,208, 1982.
172. Yoshida, T., Suda, Y. Endurance training regimes based upon arterial blood lactate effects on anerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 49, 223, 1982.
173. Föhrenbach, R., Mader, A. Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensity for training and competition in marthon runners. *Int. J. Sports Med*, 8, 11, 1987.
174. Noakes, T.D. Implications of exercise testing for prescription of athletic performance: a contemporary perspective. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20, 319, 1988.

175. Saltin, B. and P.D. Gollnick. Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: L.C. Peachey, R.H. Adrian, S R Geir-Eds.), *Handbook of Physiology: Skeletal Muscle* Bethesda; American Physiological Society, (pp. 585-589), 1983.
176. Durnin, J.V. Wormersley. Body fat assessment from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Brit. J. Nutr.* 32:77-97. 1974.
177. Laubach, L.L. Comparative muscular strength of men and women: a review of the literature. *Aviat. Space Environ. Med.* 47: 534-42. 1976.
178. Jette, M. Sidney, K. Effects of basic training on Canadian Forces recruits. *Can. J. Spt. Sci.* 14: 164-72. 1989.
179. Gardner, G.W. Specificity of strength changes of the exercised and non-exercised limb following isometric training. *Research Quarterly* 34 98-101, 1963.
180. Graves, J.E., fl.L. Pollock, A.E. Jones, A.B. Colvin, and S.H. Leggett. Specificity of limited range of motion variable resistance training. *Medicine and Science in Sport & Exercise* 21:8489, 1 989.
181. Knapik, J.J., R.H. Mawdsley, and N.U. Ramos. Angular specificity and test mode specificity of isometric and isokinetic strength training. *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy* 5 5865: 1 983.
182. Fleck, S.J. and J.E. Falkel. Value of resistance training for the reduction of sports injuries. *Sports Medicine* 3:61-68, 1986.
183. Rutherford, O.M. Muscular coordination and strength training; implications for injury rehabilitation. *Sports Medicine* 5 196202, 1988.
184. Hakkinen, K.A. and P.V. Komi. Effect of different combined concentric and eccentric muscle work regimens on maximal strength development. *Journal of Human Movement Study* 7:33-44, 1981.
185. Moritani, T. and H. DeVries. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine* 58 115-130, 1979.

186. Milner-Brown, H.S., R.B. Stein and R. Yemin. The orderly recruitment of human motor units during voluntary contractions. *Journal of Physiology* 230 359-370,1973.
187. Belanger, A., and A.J. McComas. Extent of motor unit activation during effort. *Journal of Applied Physiology* 51 1131-1135, 1981.
188. Ikai, M. and A.H. Steinhaus. Some factors modifying the expression of human strength. *Journal of Applied Physiology* 16 157-163, 1961.
189. Enoka, R.M. Muscle strength and its development; new perspectives. *SportsMedicine* 6: 146-168, 1988.
190. Hakkinen, K.A., A. Pakarinen, M. Alen, H. Kauhanen and P.V. Komi. Relationship between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *International Journal of Sports Medicine* 8 (suppl 1) 62-65 1987.
191. Atha, J. Strengthening muscle. *Exercise and Sport Science Reviews* 9 1-73,1981.
192. Kraemer, W.J. and S.J. Fleck. Resistance Training: Exercise Prescription (Part 4 of 4). *Physician and Sportmedicine* 16:6981, 1988.
193. Fleck, S.J. and W.J. Kraemer. *Designing Resistance Training Programs* Champaign: Human Kinetics Books, pp. 1-233, 1987.
194. Clark, D.H. Adaptations in strength and muscular endurance resulting from exercise. *Exercise and Sport Science Reviews* 1 :73- 1 02, 1973.
195. *Ann Med Milit Belg* 1994; 8(3): 26-39/ Trainability of military populations *Sports Medicine* 8 (suppl. 1):61-65, 1987.
196. Gettman, L.R. and M.L. Pollock. Circuit weight training: a critical review of its physiological benefits. *Physician & Sportsmedicine* 9 44-60, 1981.
197. Dudley, G.A. and R. Djmil. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise.

Journal of Applied Physiology 59:1446-1451, 1985.

198. Holloszy, J.O. and E.F. Coyle. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology* 56 831-838, 1984.

199. Hunter, G., R. Demment, and D. Miller. Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness* 27 269-275, 1987.

200. Gettman, L.R., J.J. Ayres, M.L. Pollock and A. Jackson. The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 10:17 1- 176, 1978.

201. Genman, L.R., L.A. Curler and T.A. Stratham. Physiologic changes after 20 weeks of isotonic vs isokinetic training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 20 265-274, 1980.

202. Wilmore, J.H., R.B. Parr, R.N. Girandola, P. Ward, P.A. Vodak, T.J. Barstow, T.V. Pipes, G.T. Romero and P. Leslie. Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Medicine and Science in Sports* 10:74-84, 1978.

203. McDonagh, M.J.N. and C.T.M. Davies. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *European Journal of Applied Physiology* 52 139-155, 1984.

204. Sánchez, M., Moya, M. Urgencias Médicas. En: *Manual de Medicina Clínica. Diagnóstico y Terapéutica*. Muñoz, B. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. pp 902 - 904. 1993.

205. American College of Sports Medicine. Position statement on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22:265-274, 1990.

206. Shvartz, E. and D. Tamir. Effects of calisthenics on strength muscular endurance and total body reaction and movement times. Beerheba, Israel: Negev Ist. for Arid Zone, 1972.

207. Marciniak, E.J., J.A. Hodgdon, K. Mittleman and J.J. O'Brien. Aerobic calisthenic and aerobic/circuit

- weight training programs for Navy men: a comparative study. Naval Health Research Center, San Diego, CA, Report No. 84-6, 1984.
208. Marcinik, B.S. Hodgdon, J.A. The effects of an Augmented and the Standard Recruit Physical Training Program on Fitness Parameters. *Aviat. Space Environ. Med.* 56: 204-7. 1985.
209. Song, T.M. Moore, J. Physical Fitness of Militia Forces. *Milit. Med.* 154: 477-9. 1989.
210. May, B.W. Progressive resistance weight training program designed to improve the Armor crewman's strength. Master's thesis 1 aug.91-5 Jun. Army Command and General Staff Coll., Fort Leavenworth, KS 166 p. 5jun92. 1992.
211. Hortobagyi, T. Katch, F.I. Effects of simultaneous training for strength and endurance on upper and lower body strength and running performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 31: 20-30. 1991.
212. Knapik, J., M. Bahrke, J. Staab, J. Vogel and J. O'Connor. Frequency of loaded road march training and performance on a loaded road march. US Army Research Institute of Environmental Medicine, Report T13-90, Natick, MA, USA, April 1990.
213. Kraemer, W.J., J.A. Vogel, J.F. Patton, J.E. Dziados and K.L. Reynolds. The effects of various physical training programs on short duration, high intensity load bearing performance and the Army Physical Fitness Test. US Army Research Institute of Environmental Medicine, Report NO 30/87, Natick, MA, USA, 1 987.
214. Sharp, M., M. Bovee, B. Boutilier, E. Harman and W. Kraemer. Effects of weight training on repetitive lifting capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21 :S87, 1989.
215. Simoneau, J.-A., G. Lonie. M.R. Bowley, M. Marcotte, M.-C. Thibault, and C. Bouchard. Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *European Journal of Applied Physiology* 54:250-253.
216. Nevill, M.E. Boabis, L.H. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting, *J. Appl. Physiol.* 67, 237, 1989.
217. Jacobs, I., Esbjörsson, M. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood

lactate. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19, 368, 1987.

218. Houston, M.E., Wilson, D.M. Physiological and muscle enzyme adaptations to two different intensities of swim training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 46, 283, 1981.

219. Kuzon, W.N., Rosenblatt, J.D. Skeletal muscle fiber type, fiber size and capillary supply in elite soccer players. *Int. J. Sports Med.*, 11, 99, 1990.

220. Tesch, P.A., Thorsson, A. Muscle capillary supply and fiber type characteristics in weight and power lifters, *J. Appl. Physiol.* 56, 35, 1984.

221. Hackney, A.C. Shaw, J.M. Cold exposure during military operations: effects on anaerobic performance. *J. Appl. Physiol.* 71: 125-30. 1991.

222. Hodgson, J.A. Hesslink, R.L. Norwegian military field exercises in the Arctic: cognitive and physical performance. *Arctic Med. Res.* 50 suppl. 6P 132-6. 1991.

223. Costill, D.L., E.F. Coyle, W.F. Fink, G.R. Lesmes, and F.A. Witzmann. Adaptations in skeletal muscle following strength training. *Journal of Applied Physiology* 46 96-99, 1979.

224. Shellock, F.G. and W.E. Prentice. Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports related injuries. *Sports Medicine* 2 267-278, 1985.

225. Prentice, W. E. An electromyographic analysis of the effectiveness of heat or cold and stretching for inducing muscular relaxation. *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy* 3:133-140, 1982.

226. Vogel, J.A. Crowdy, J.P. Aerobic fitness and body fat of young British males entering the Army. *Eur. J. Appl. Physiol.* 40: 73-83. 1979.

227. Lohman, T.G. Body composition methodology in sports medicine. *Physician and Sportsmedicine* 10:47-58, 1982.

228. Gettman, L.R. Fitness Testing (Chapter 19). In: S.N. Blair, P. Painter, R.R. Pate, L.K. Smith, C.B. Taylor (Eds.), *Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription* Philadelphia: Lea and

Febiger, p. 161,1988.

229. Lee, L. Kumar, S. The impact of five-month basic military training on the body weight and body fat of 197 moderately obese Singaporean males aged 17 to 19 years. *Int. J. Obes. Relat. Metab Disord.* 18: 105-9 1994.

230. Everett, W.D. A practical review of obesity in military medicine. *Milit. Med.* 152: 125. 1987.

231. Sweeney, S.S. Bonnabeau, R.C. Positive and Negative health behaviors used to ensure compliance with the U.S. Army's weight control standards by a reserve component unit. *Milit. Med.* 155: 255-60. 1990.

232. Freihofer, P. Burman, K.D. A comparison of the health risk, health status, self-motivation, psychological symptomatic distress, and physical fitness of overweight and normal-weight soldiers. *Milit. Med.* 155: 424-9. 1990.

233. Wilmore, J. H. *Training for Sport and Activity: The Physiological Basis for the Conditioning Process* (2nd ed) Boston Allynand Bacon, 1982.

234. Pascale, L.R. Grossman H.S. Correlation between thickness of skinfolds and body density in 88 soldiers. *Hum. Biol.* 28: 165-76. 1956.

235. Conway, T.L. Cronan, T.A. Circumference-estimated percent body fat vs. weight-height indices: relationships to physical fitness. *Aviat. Space Environ. Med.* 60: 433-7. 1989.

236. Wright, H.F. Dotson, C.O. An investigation of assessment techniques for body composition of women marines U.S. Navy *Med.* 71: 15-26. 1980.

237. Wright, H.F. Dotson, C.O. A simple technique for measurement of percent body fat in man. *U.S. Navy Med.* 72: 23-7. 1981.

238. Shake, C.L. Schlichting, C. Predictin percent body fat from circumference measurements. *Milit. med.* 158: 26-31. 1993.

239. Friedl, K.E. DeWinne, C.M. The use of the Durnin-Womersley generalized equations for body fat

- estimation and their impact on the Army weight control program. *Milit. Med.* 152: 150-4. 1987.
240. Vogel, J .A. and K. E . Friedl . Army data: body composition and physical capacity. In: *Body Composition and Physical Performance*, B.M. Marriott and J. Grumstn up - Scott (eds). Washington, DC: National Academy Press, 1992.
241. Vogel, J.A. Obesity and its relation to physical fitness in the U.S. Military. *Armed Forces and Society*, 18: 497-513. 1992.
242. Knapik, J.J. Burse, R.L. Height, weight, percent body fat, and indices of adiposity for young men and women entering the U.S. Army. *Aviat. Space Environ. Med.* 54:223-311983.
243. Vogel, J.A. Obesity and its relation to physical fitness in the U.S. military. *Armed Forces & Society* 18 497-513, 1992.
244. The U.S. Army Weight Control Program. Army Regulation 6009, Headquarters, Department of the Army, Washington, D.C., 1986.
245. Slack, M.C. Ferguson, E.W. Percent body fat alone is a poor predictor of physical fitness. *Milit. Med.* 150: 211-4. 1985.
246. Jette, M. Sidney, K. Fitness, performance and anthropometric characteristics of 19,185 Canadian Forces personnel classified according to body mass index. *Milit. Med.* 155: 120-6. 1990.
247. Smith, L.K. Health Appraisal. In: S.N. Blair, P. Painter, R.R. Pate, L.K. Smith, C.B. Taylor (Eds.), *Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription Philadelphia: Lea and Febiger*, p. 159, 1988.
248. Sovtic, P , Pavlica M Nutritional status, physical development and physical fitness of soldiers before and after training. *Vojnosanit Pregl: (abstract)* 46: 7-10 1989.
249. Fletcher G.F., Froeliecher V.F. "Exercise standards. A statement for health professionals from the American Heart Association". *Circulation.* 82:2286-23222, 1990.

250. Mancini, D.M., Walter, G. Reichek, N.. Contribution of skeletal muscle atrophy to exercise intolerance and altered muscle metabolism in heart failure. *Circulation*, 85: 1364 - 1373. 1992.
251. Legido J.C., Segovia, J.C.. L.-Silvarrey F.J. *Manual de Valoración Funcional*. Ediciones Eurobook. 1996.
252. Kraemer, J. Newton, R. Training for improved vertical jump. *Sports Science Exchange*. Gatorade Sports Science Institute. Illinois. vol 7.n 6:53 . 1994.
253. Bar-Or, O. The Wingate Anaerobic Test. *Sports Medicine* 4: 381 - 394. 1987.
254. Maud, P.J., Shultz, B.B. Norms for the Wingate Anaerobic Test with comparison to another similar test. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. vol 60, 2: 144 - 151. 1989.
255. *Anuario Estadístico Militar de 1993*. Ministerio de Defensa. Madrid 1997.
256. *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*. Espasa Calpe. Bilbao 1909.
257. Barriga C, López Mojares, LM, Domingo A. Factores de riesgo cardiovascular en una población de varones jóvenes. XXVIII Congreso Internacional de Medicina y Farmacia Militares. Madrid 1990.
258. López Mojares, LM. Estudio comparativo de ingresos y gastos energéticos en una población militar. II Symposium Nacional de Sanidad Militar. Valencia 1986.
259. López Mojares, LM. Modificaciones del perfil lipídico con la actividad física. Memoria de fin de Especialidad. Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte (UCM). madrid 1990.