

# fisioterapia

descripción de las técnicas y tratamiento

A. Hüter-Becker

H. Schewe

W. Heipertz

tiója



# *Fisioterapia*

*Descripción de las técnicas  
y tratamiento*

Por:

A. Hüter-Becker, H. Schewe  
W. Heipertz.



12.142.672



Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamos públicos.

Título original de la obra: *Physiotherapie*, vol. 4. *Untersuchungs- und Behandlungstechniken*. 1ª edición

© Georg Thieme Verlag

Director de colección: Antoni Cabot

Traducción: Eva Nieto

Revisión técnica: Salvi Delmuns Carvajal

Diseño cubierta: David Carretero

© 2003, A. Hüter-Becker

H. Schewe

W. Heipertz

P. Kirchener

Con la colaboración de S. Bänsch, A. Bohlander, *et al.*

Editorial Paidotribo

C/ Consejo de Ciento, 245 bis, 1º 1ª

08011 Barcelona

Tel. 93 323 33 11 - Fax. 93 453 50 33

E-mail: [paidotribo@paidotribo.com](mailto:paidotribo@paidotribo.com)

<http://www.paidotribo.com>

Primera edición

ISBN: 84-8019-667-X

Fotocomposición: Bartolomé Sánchez de Haro

Impreso en España por: A&M Gràfic

# ÍNDICE

PREFACIO .....	11
1. FUNDAMENTOS DE LA FISIOTERAPIA (H. EHRENBURG Y U. HAEUSERMANN) .....	13
1.1. DEFINICIONES .....	13
1.1.1. FISIOTERAPIA .....	13
1.1.2. MEDICINA FÍSICA .....	13
1.2. EL MOVIMIENTO COMO TERAPIA .....	14
1.2.1. FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL MOVIMIENTO .....	14
MECÁNICA DEL MOVIMIENTO .....	14
MECÁNICA DE LÍQUIDOS Y GASES .....	21
1.2.2. FUNDAMENTOS ANATÓMICOS Y FÍSICOS DEL MOVIMIENTO .....	27
PLANOS - EJES - ARTICULACIONES .....	27
MECÁNICA DE LOS MÚSCULOS .....	31
FISIOLOGÍA DEL MOVIMIENTO .....	32
PREPARACIÓN Y GASTO DE LA ENERGÍA .....	36
1.2.3. ESTÍMULO - REACCIÓN - ADAPTACIÓN .....	39
INTRODUCCIÓN EN LOS CONCEPTOS .....	39
ESTÍMULOS Y REACCIONES ESPECÍFICOS .....	44
CONSECUENCIAS PARA LA FISIOTERAPIA .....	49
1.3. RENDIMIENTO E INCREMENTO DEL RENDIMIENTO .....	49
1.3.1. INTRODUCCIÓN .....	49
1.3.2. DIFERENCIACIÓN DE LAS CAPACIDADES CORPORALES .....	50
1.3.3. AUMENTO DEL RENDIMIENTO .....	54
LÍMITES DEL RENDIMIENTO DE RESISTENCIA, <i>STEADY STATE</i> , UMBRAL AERÓBIO-ANAERÓBIO .....	55
CANSANCIO - RECUPERACIÓN - PAUSA .....	56
EJERCICIO Y ENTRENAMIENTO .....	58
1.3.4. AUMENTO DE LAS PRESTACIONES A TRAVÉS DEL EJERCICIO .....	60
1.3.5. AUMENTO DE LAS PRESTACIONES A TRAVÉS DEL ENTRENAMIENTO .....	62
ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA MUSCULAR .....	62
ENTRENAMIENTO DE LA ELASTICIDAD .....	67
ENTRENAMIENTO DE LA RESISTENCIA .....	69

1.3.6. CON RESPECTO A LA MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO .....	81
1.3.7. CONSIDERACIÓN FINAL .....	84
1.4. FUNCIÓN .....	84
1.4.1. DEFINICIÓN .....	86
1.4.2. CONDICIONES PREVIAS Y REQUISITOS PARA LA FUNCIÓN .....	87
1.4.3. FUNCIÓN COMO CONCEPTO CIBERNÉTICO .....	88
RASGOS PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE CIRCUITO REGULADOR .....	88
1.4.4. ALTERACIONES DE LA FUNCIÓN .....	89
1.4.5. APRENDIZAJE DE LA FUNCIÓN .....	90
1.4.6. FUNCIÓN E IDENTIDAD .....	92
<b>2. TÉCNICAS DE LA FISIOTERAPIA (H. EHRENBURG Y K. JÜCKSTOCK-KAERGER) .....</b>	<b>95</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	95
2.2. EXPLORACIÓN EN FISIOTERAPIA .....	95
2.3. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO FISIOTERAPÉUTICO .....	98
2.3.1. POSICIONES .....	98
SOBRE LA ESTABILIDAD E INESTABILIDAD DE LAS POSICIONES .....	98
LAS POSICIONES MÁS USUALES .....	99
2.3.2. TÉCNICAS ACTIVAS .....	106
RESPECTO A LA TERMINOLOGÍA .....	106
2.3.3. MOVIMIENTO .....	107
MOVIMIENTO CON APOYO .....	108
MOVIMIENTO LIBRE .....	114
MOVIMIENTO CONTRA UNA RESISTENCIA .....	130
2.3.4. SITUACIÓN DE PARADA .....	140
LA SITUACIÓN DE PARADA EN PORCENTAJE DE LA FUERZA MÁXIMA .....	141
LA SITUACIÓN DE PARADA BAJO CONCENTRACIÓN EN ALTERNANCIA CON LA TENSIÓN .....	145
2.3.5. MOVIMIENTO Y PARADA .....	147
INTRODUCCIÓN DE PARADAS DURANTE Y AL FINAL DEL DESARROLLO DE UN MOVIMIENTO .....	147
MOVIMIENTO CON APOYO Y PARADA .....	147
MOVIMIENTO LIBRE Y PARADA .....	148
MOVIMIENTO CONTRA UNA RESISTENCIA Y PARADA .....	149
TRANSICIÓN DE UNA POSICIÓN CORPORAL A OTRA .....	150

2.3.6. APRENDIZAJE DE LA DEAMBULACIÓN .....	153
FASES NORMALES DE LA DEAMBULACIÓN DE LAS PERSONAS SANAS .....	153
APRENDIZAJE DE LA MARCHA CON MEDIOS DE APOYO .....	157
2.3.7. TÉCNICAS PASIVAS .....	167
POSICIÓN DE REPOSO .....	167
TRACCIÓN .....	181
2.3.8. EFECTOS DE TÉCNICAS ACTIVAS Y PASIVAS .....	182
INTRODUCCIÓN .....	182
EFECTOS CORPORALES .....	182
EFECTOS PSÍQUICOS, INCLUYENDO EFECTOS EN EL CONTEXTO PSICOFÍSICO, EN LA RELAJACIÓN O DISTENSIÓN .....	190
CONSIDERACIONES FINALES .....	194
2.4. TÉCNICAS DE FISIOTERAPIA ESPECIALES .....	195
2.4.1. FACILITACIÓN NEUROMUSCULAR PROPIOCEPTIVA (PNF: PROIOZEPTIVE NEUROMUSKULÄRE FACILITATION) (A. NÖLL-SEEGER) .....	195
2.4.2. CONCEPTO BOBATH PARA ADULTOS (M. PEBLER) .....	199
2.4.3. CONCEPTO BOBATH PARA NIÑOS (J. TOLKS) .....	200
2.4.4. REFLEXOLOCOMOCIÓN SEGÚN VOTJA (D. VON AUFSCHNAITER) .....	201
2.4.5. TÉCNICA DE BRUNKOW (M. UEBELE) .....	203
2.4.6. ENSEÑANZA FUNCIONAL DE MOVIMIENTOS DE KLEIN-VOGELBACH (R. HAARER-BECKER) ..	205
2.4.7. TERAPIA MANUAL (H. ERNST) .....	206
ORTOPEDIA NO QUIRÚRGICA DEL DR. J. CYRIAX .....	207
MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE MCKENZIE .....	208
CONCEPTO MAITLAND .....	209
2.4.8. ANÁLISIS FUNCIONAL DE BRÜGGER (A. BOHLANDER) .....	209
2.4.9. ENTRENAMIENTO MÉDICO DE RESTITUCIÓN (D. WELSINSK Y H. SCHUHMACHER) .....	210
2.4.10. MESA DE SUSPENSIÓN (U. MICHAELS) .....	214
2.4.11. TÉCNICAS DE RELAJACIÓN (R.I. ROST Y P. KIRCHNER) .....	218
RELAJACIÓN MUSCULAR PROGRESIVA DE JACOBSON .....	218
ENTRENAMIENTO AUTÓGENO .....	219
YOGA .....	219
FELDENKRAIS .....	220

EUTONÍA .....	219
QI GONG .....	219
2.4.12. TERAPIA RESOLUTIVA (H. EHRENBERG) .....	221
2.4.13. PSICOMOTRICIDAD ORIENTADA CLÍNICAMENTE (F. BOUACHBA Y J. GRAICHEN) .....	222
2.5. TÉCNICAS DE FISIOTERAPIA RESPIRATORIA (P. KIRCHNER) .....	223
2.5.1. INTRODUCCIÓN .....	223
2.5.2. DEFINICIÓN Y USOS .....	224
2.5.3. TERMINOLOGÍA .....	225
2.5.4. EVALUACIÓN EN FISIOTERAPIA .....	233
EVALUACIÓN DE LAS FORMAS DE RESPIRACIÓN .....	233
EVALUACIÓN DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS (S. BÄNSCH) .....	235
EXPLORACIÓN DE LA RESPIRACIÓN .....	238
2.5.5. POSICIÓN CORPORAL TERAPÉUTICA .....	238
POSICIONES CORPORALES QUE FAVORECEN LA RESPIRACIÓN .....	238
POSICIONES PARA LA ACTIVACIÓN DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS .....	241
POSICIÓN DE EXTENSIÓN .....	242
POSICIÓN DE DRENAJE .....	246
CAMBIO DE POSICIÓN .....	247
2.5.6. TÉCNICAS DE RESPIRACIÓN .....	250
TÉCNICAS DE INSPIRACIÓN .....	250
TÉCNICAS DE ESPIRACIÓN .....	253
TÉCNICAS DE INSPIRACIÓN Y ESPIRACIÓN COMBINADAS .....	256
TÉCNICAS TUSÍGENAS .....	257
TÉCNICAS RESPIRATORIAS CON APARATOS .....	262
2.5.7. TÉCNICAS MANUALES .....	269
TÉCNICAS MANUALES PARA LA MEJORA DE LA INSPIRACIÓN Y LA ESPIRACIÓN .....	269
PRESA CUTÁNEA .....	270
CLAPPING (GOLPETEO) .....	270
VIBRACIONES .....	271
SACUDIDAS .....	271
COMPRESIÓN DEL TÓRAX .....	272
TÉCNICAS DE MASAJE .....	272



2.5.8. RESPIRACIÓN Y MOVIMIENTO .....	273
MOVILIZACIÓN DEL TÓRAX .....	273
UNIÓN DE LA RESPIRACIÓN Y EL MOVIMIENTO .....	274
SEGUIR RESPIRANDO EN TRABAJO DE PARADA .....	274
2.5.9. TERAPIA INHALATORIA (K. ROHDE) .....	276
2.5.10. ELIMINACIÓN DE SECRECIONES .....	277
DESCONGESTIÓN MUCOCILIAR .....	278
DESCONGESTIÓN POR TOS .....	278
DESCONGESTIÓN ALVEOLAR .....	279
FACTORES QUE ALTERAN LA FUNCIÓN DE LIMPIEZA .....	279
2.5.11. RESULTADOS DE LAS TÉCNICAS TERAPÉUTICAS RESPIRATORIAS .....	282
2.6. RESPIRACIÓN ARTIFICIAL MECÁNICA (H. EHRENBURG) .....	282
FORMAS DE RESPIRACIÓN ARTIFICIAL .....	284
2.7. MOVERSE EN EL AGUA (H. WEBER) .....	287
2.7.1. CONDICIONES PARA EL TRATAMIENTO EN EL AGUA .....	288
2.7.2. TRATAMIENTO EN EL AGUA EN REPOSO .....	291
PRESIÓN HIDROSTÁTICA .....	291
EMPUJE .....	292
ESTABILIDAD DE LA POSICIÓN DE NATACIÓN .....	293
EFECTO Y APLICACIÓN DEL EMPUJE .....	295
2.7.3. TRATAMIENTO EN EL AGUA EN MOVIMIENTO .....	296
RESISTENCIA A LA CORRIENTE .....	296
CORRIENTE TURBULENTO .....	297
2.8. ASPECTOS ORGANIZATIVOS DEL TRATAMIENTO EN FISIOTERAPIA .....	301
2.9. DESCRIPCIÓN DE LOS TÉRMINOS UTILIZADOS .....	304
2.9.1. GLOSARIO .....	305
2.9.2. UNIDADES DE MEDIDA .....	309
UNIDADES DERIVADAS .....	309
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>313</b>
<b>ÍNDICE ALFABÉTICO .....</b>	<b>325</b>



## PREFACIO

Los capítulos relativos a fundamentos y técnicas de la gimnasia terapéutica / fisioterapia han permanecido en su forma original prácticamente inalterados. Además del cambio gráfico de toda la edición, se actualizó la parte de isocinética. En este punto agradecemos al Prof. Dr. R. Rost la revisión del artículo "Rendimiento y aumento del rendimiento".

El capítulo sobre "técnicas especiales" ha sido ampliado considerablemente. El lector también encontrará resúmenes sobre terapia de entrenamiento, psicomotricidad, análisis de funcionamiento y relajación en fisioterapia.

La terapia respiratoria (o de la gimnasia terapéutica) ha sido totalmente reelaborada, en base a los pilares establecidos por Hilla Ehrenberg en este apartado.

La Sra. H. Weber (antes Witt) ha vuelto a escribir desde el principio, además de ampliarlo, su capítulo "Moverse en el agua".

Los artículos "Ayudas para levantar y desplazar a enfermos y disminuidos" y "Psicología y aspectos organizativos del tratamiento de la gimnasia terapéutica" han sido emplazados en otros volúmenes de la colección.

Quiero agradecer a los fisioterapeutas / expertos en gimnasia terapéutica S. Bänsch, H. Göhring, H. Holland-Cunz, D. Pfeiffer-Kascha y K. Rohde, así como a los médicos PD Dr. med. R. Buhl, Prof. Dr. med. H.-P. Criée, Prof. Dr. med. O. Giebel y Prof. Dr. med. D. Köhler por sus inestimables sugerencias y correcciones.

Finalmente quiero agradecer en nombre de todos los autores a los colaboradores y diseñadores de la Editorial Georg Thieme por su constructiva cooperación.

Petra Kirchner  
Frankfurt del Main

# 1. FUNDAMENTOS DE LA FISIOTERAPIA

## H. EHRENBURG Y U. HAEUSERMANN

### 1.1. DEFINICIONES

#### 1.1.1 Fisioterapia

La fisioterapia, como parte integrante de una terapia física, la actividad propia del enfermo, para fines curativos. Los objetivos profilácticos, terapéuticos y rehabilitadores son apoyos para el desarrollo, el mantenimiento y la recuperación de todas las funciones en el ámbito somático y psíquico o para el aprendizaje de funcionamientos alternativos para las disfunciones que no sean recuperables. Un requisito obligatorio previo para el tratamiento es el diagnóstico en fisioterapia, que depende tanto de la enfermedad como del paciente. Los procedimientos propuestos son técnicas fisioterapéuticas especiales para los enfermos, formas dosificadas de los ejercicios deportivos y gimnásticos para personas sanas, y series de movimientos que se desarrollan durante un día normal. Se han tomado los principios de aprendizaje, ejercicio y entrenamiento del desarrollo corporal, deporte y medicina deportiva buscando un incremento progresivo del rendimiento sin perjuicio físico. De manera circunstancial, y siempre que sea necesario, se combinan otros procedimientos de

la terapia física para ampliar el tratamiento, entre los que se incluyen los masajes, la electroterapia y la hidroterapia, entre otros. La situación del tratamiento en fisioterapia –independientemente de que lo sea a nivel individual o en grupo– está marcada por el acercamiento personal entre el responsable y el paciente.

#### 1.1.2 Medicina física

Según Weimann (1978) la medicina física es “una tendencia profesional orientada terapéuticamente” que usa diferentes formas de energía tanto naturales como elaboradas técnicamente (por ejemplo, energía mecánica como masajes y movimiento, calor, energía de ondas, distintos tipos de ondas electromagnéticas, ondas sonoras y diferentes formas de electricidad).

El objetivo general –y aquí es donde se encuentra una diferencia básica entre muchos de sus procedimientos y la farmacoterapia o la cirugía– es apelar a las fuerzas ordenadoras internas y a la capacidad de autorregeneración del propio organismo. Siempre que se pueda se deben “usar, promover y optimizar procedimientos de curación naturales”.

Esta definición deja claro que la fisioterapia, con sus principios de acción, ha de ser incluida dentro de la medicina física.

## 1.2. EL MOVIMIENTO COMO TERAPIA

### 1.2.1 Fundamentos físicos del movimiento

No nos podemos ocupar de las funciones del organismo humano sin conocer las leyes que las dirigen. Esto se acentúa en el caso de la función del movimiento, concepto cuyos fundamentos es obligatorio considerar incluidos de forma total dentro del ámbito de la física.

*Ejemplos:* El resultado dinámico de una fuerza es la aceleración. La fuerza gravitatoria y el rozamiento pueden tener una influencia de frenado. – Todos los tratamientos fisioterapéuticos están sometidos a estas leyes. – El adiestramiento de la marcha con un paciente sobre una escalera está regido en su dosificación según el principio de los planos inclinados. – Las extendidas leyes de la palanca y del momento de giro son fundamentales para la comprensión del funcionamiento de las articulaciones y el hipomoclio<sup>1</sup> (huesos de apoyo como la rótula).

Este capítulo parte, pues, de la reflexión de que no es posible poner en práctica una terapia del movimiento sin tener previamente el conocimiento de sus fundamentos físicos.

Si se quiere llegar a una teoría del

movimiento habrá, en primer lugar, que hacer una presentación de las características más notables de la física y tenerlas en cuenta para su aplicación y utilización práctica en la fisioterapia. Por motivos obligados de brevedad, a continuación se procederá a describir solamente los conceptos y leyes básicos. En el glosario, así como en la serie de libros de física recomendados, se puede encontrar más información.

#### Mecánica del movimiento

“Mecánica” es una palabra que proviene del griego. Su traducción está relacionada con las “máquinas”

*Definición:* El concepto físico de “mecánica” es “la ciencia que estudia el movimiento de un cuerpo bajo la influencia de fuerzas” (Müller y Gräfe 1978).

Las fuerzas actúan en todo momento, incluso cuando no son reconocibles para nosotros; el movimiento es un proceso elemental para cualquier ser vivo y por ello la mecánica tiene un papel predominante en cualquier teoría del movimiento de la fisioterapia.

#### Masa

*Definición:* Masa es el fundamento de la materia. Se corresponde con un enorme conglomerado de materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Se diferencia entre:

- Masa pesada, fundamento del peso o la atracción de las masas

<sup>1</sup>Hipomoclio. (Del griego *hypomoclion*; *hipó*, debajo, y *móchliós*, palanca). Punto de apoyo de una palanca. (N. del T.).

<sup>2</sup>Maschinenkunde. En alemán ésta palabra significa tanto mecánica como máquinas.

en los campos gravitatorios (todas las masas se atraen).

- Masa inerte es la propiedad de oponerse a la variación del movimiento (aceleración o reducción del movimiento), (ley de la inercia de Newton).

### Fuerza

**Definición:** La fuerza es el motivo principal del cambio de posición de un cuerpo. La fuerza, por tanto, no es directamente reconocible sino a través de su resultado: cambia el estado de un cuerpo desde el reposo o desde un movimiento uniforme y lineal.

**Resultado de la fuerza:** Se distinguen dos resultados en los que se puede apreciar cada fuerza:

- resultado estático,
- resultado dinámico.

**Resultado estático:** Se ejerce una fuerza sobre un cuerpo que no tiene libertad de movimiento, ya sea empujando o tirando de él. Se produce un cambio de forma o de volumen. A este cambio se le denomina deformación.

**Resultado dinámico:** Se ejerce una fuerza sobre un cuerpo con total libertad de movimiento, de esta manera se le transmite una *aceleración*. Si se encuentra con un cuerpo en reposo, le proporciona *movimiento*.

**Formas:** Se distinguen varias formas de fuerza dependiendo de su origen. Pueden tener efecto de atracción o de repulsión. Las más importantes son:

- fuerzas de atracción de las masas

- (fuerzas gravitatorias),
- fuerzas musculares,
- fuerzas de rozamiento,
- fuerzas eléctricas,
- fuerzas magnéticas,
- fuerzas centrífugas,
- fuerzas intermoleculares (fuerzas de adhesión, de cohesión o de Coulomb y Van der Waals),
- fuerzas químicas (de enlace),
- fuerzas capilares,
- fuerzas nucleares (fuerzas de acción del núcleo del átomo).

**Nota:** La definición de aquellas fuerzas que sean necesarias para la comprensión de la fisioterapia están descritas bien en artículos especiales bien, de manera abreviada, en el glosario.

### Leyes de Newton

El físico inglés Newton enunció leyes para los conceptos de fuerza, masa, inercia y aceleración, que se deben conocer como fundamento de la fisioterapia aun cuando para el tratamiento no siempre seamos conscientes de su importancia.

#### Ley de la inercia

Todos los cuerpos debido a su propia masa se encuentran en reposo o en movimiento linealmente uniforme cuando no se ejerce ninguna fuerza sobre ellos (ver los apartados relativos a fuerza y movimiento, así como el glosario).

En posición de reposo los cuerpos tienen la propiedad de la inercia (fuerza de inercia). Esta inercia es una propiedad de todas las denominadas masas: cuanto mayor



sea la masa, mayor será la inercia, y también mayor debe ser la fuerza para vencer este estado. El fisioterapeuta en la terapia del movimiento ejecuta un *trabajo* (físicamente, vencer una resistencia; fisiológicamente, el término se usa de otra manera); desarrolla un *rendimiento* (trabajo en una determinada unidad de tiempo), y con ello ejerce sobre el cuerpo afectado una *aceleración*, una *presión* o un *arrastre*. Esto nos conduce a la ley de efecto de la fuerza.

#### Ley del efecto de la fuerza

Existe una relación proporcional (igualdad de proporción) entre la cantidad de una fuerza, la masa que ha puesto en movimiento y la aceleración transmitida. Dicho de otra manera: cuanto mayor sea la masa de un cuerpo, mayor habrá de ser la fuerza que la hace acelerar.

#### Ley del efecto recíproco

Cada acción (efecto de una fuerza) provoca una reacción igual y opuesta a la ejercida (*actio = reactio*). Esto significa que cuando se activa una fuerza, ésta nunca afecta solamente a un cuerpo, sino que afecta, de manera recíproca, como mínimo a dos cuerpos en sentidos opuestos y con la misma magnitud. Realmente esta reciprocidad no es reconocible especialmente cuando se realiza contra la tierra. Esto es debido a su gran masa. La reciprocidad se puede reconocer, dado el caso, por ejemplo, al saltar (trampolín, cama elástica) cuando el salto se realiza desde o sobre una tabla. Un ejemplo típico para visualizar la dependencia del efecto recípro-

co es el retroceso del disparo de un arma de fuego.

Esta tercera ley de Newton tiene, al examinarla con una mayor atención, una gran importancia para las actividades en fisioterapia. Sólo hay que ir un poco más allá en el ámbito de la terapia del movimiento y pensar en los campos de la hidroterapia y la electroterapia, entre otros; en todos ellos se aplica el principio de "*actio = reactio*". En el apartado "Estímulo - Reacción - Adaptación" volveremos a hablar de este tema.

### Palanca

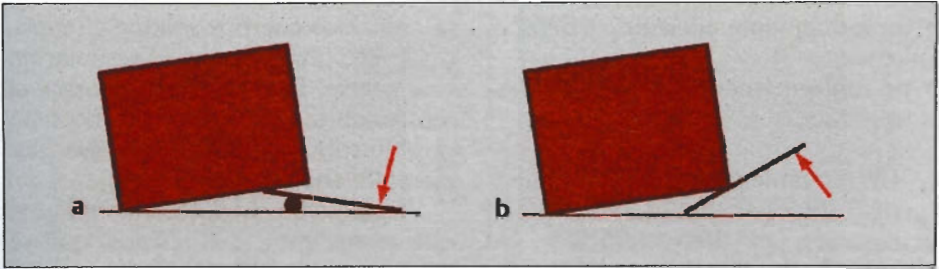
**Definición:** La palanca es una de las máquinas más sencillas de la mecánica. Una palanca es aquel cuerpo que puede girar sobre un eje sobre el que actúan una, dos (o más) fuerzas que buscan hacer girar ese cuerpo.

**Ejemplos** de la vida diaria son las puertas giratorias o las tijeras.

Dependiendo del número de fuerzas que actúen, se puede distinguir entre palancas de dos o más brazos (Figura 1.1a y b).

**Efecto:** Por medio de una palanca y dependiendo de la longitud del brazo se puede conseguir con una fuerza pequeña un resultado grande (carga). La distancia fundamental no es la que existe entre el punto de contacto de la fuerza y el eje de rotación, sino el llamado brazo de la palanca (una distancia geométrica) y el momento de giro.

**Nota recordatoria:** Con ayuda de una palanca se ahorra bien trabajo,



**Figura 1.1a y b:** Levantar una carga pesada con ayuda de una palanca **a** de dos brazos, **b** de un brazo (de Müller y Gräfe).

bien camino. La fuerza en sí no es decisiva; lo es el momento de giro.

**Momento de giro:** Es una magnitud calculable para cuerpos que giran y se define como el producto de la potencia que se ha de emplear (la cantidad de la fuerza) y la distancia perpendicular entre el eje de rotación y la dirección de la fuerza (Figura 1.2).

Forma abreviada: el momento de giro es igual a la potencia por la distancia perpendicular de la potencia al eje de rotación.

**Nota recordatoria:** No confundir el momento de giro con el trabajo de giro en la articulación (Fischer) ni con el concepto de “fuerzas de rotación”, como ocurre en algunos manuales sobre el movimiento.

### Movimiento - aceleración

**Definición:** Se denomina movimiento a la variación de posición de un cuerpo en relación con otro cuerpo. Aceleración es el incremento de velocidad en una fracción de tiempo determinada.

Movimiento es, pues, una magni-

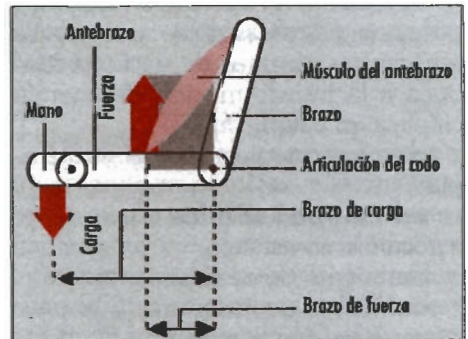
tud relativa. Presupone un observador (que percibe) y un segundo cuerpo como punto de referencia.

Las diferentes formas de movimiento son:

- avanzando (traslación),
- girando (rotación),
- combinado.

Dentro de estas formas de movimiento es importante para la fisioterapia la división, del tipo de “cambio de posición”, en movimiento:

- uniforme,
- no uniforme (aceleración o desaceleración),



**Figura 1.2:** Representación geométrica de los momentos de giro dentro de las leyes de equilibrio de la palanca aplicadas al antebrazo (de Marsch y Marsch).

- uniformemente acelerado / desacelerado
- no uniformemente acelerado / desacelerado.

Un movimiento es uniforme mientras no interfiere en su recorrido ni aceleración ni desaceleración. Su velocidad es por tanto constante.

En el movimiento corporal humano se dan todas las formas de movimiento mencionadas, y son reconocibles en todas las acciones propias y externas. Durante un proceso de movimiento domina de manera cambiante la proporción de movimiento no uniforme: en el inicio del movimiento, la aceleración, y, al final del movimiento, el frenado; entre ellos domina la uniformidad, siempre que no se desarrollen de manera arbitraria movimientos no uniformes. Además hay que contar con los factores de distorsión externos, como el rozamiento, que pueden influir en el movimiento.

### Rozamiento

El rozamiento aparece en todos los procesos físicos siempre que no se realicen en cámaras de vacío, y conduce a la transformación de energía cinética en calor.

Son importantes para la fisioterapia:

#### **en cuerpos sólidos**

- rozamiento estático
- rozamiento de deslizamiento
- rozamiento de rodadura

#### **en líquidos o gases**

- rozamiento externo
- rozamiento interno

*Rozamiento estático* es el que exis-

te entre dos cuerpos sólidos en reposo. Evita, por ejemplo, el resbalar en una cuesta. Pero también favorece el movimiento; sin él el avance no sería posible sobre algunos materiales (por ejemplo, andar sobre el hielo).

*Rozamiento de deslizamiento* es el que existe entre dos sólidos, que se mueven en direcciones contrarias tocándose. Frena el movimiento.

*Rozamiento de rodadura* aparece cuando un sólido de forma esférica rueda sobre un sólido de superficie plana.

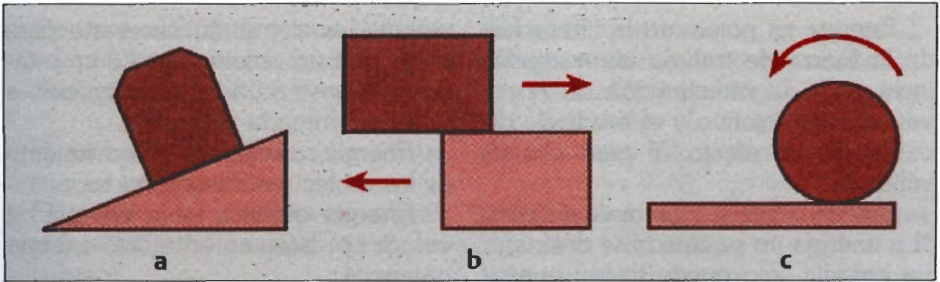
Rozamiento estático > rozamiento de deslizamiento > rozamiento de rodadura (Figura 1.3 a-c). Esto se explica de la siguiente manera: el rozamiento depende de la presión que se realiza en sentido perpendicular a la superficie de rozamiento. En el caso de una bola la superficie de contacto es muy pequeña.

*Rozamiento externo* es el que ocurre entre un líquido o gas en movimiento y un sólido.

*Rozamiento interno* es aquél entre partículas líquidas o gaseosas en movimiento.

Rozamiento interno < rozamiento externo < rozamiento entre sólidos. Esto explica el objetivo de los engrasantes y lubricantes. Nuevas investigaciones sobre el rozamiento estático están demostrando que en los casos de contacto muy estrecho entre las superficies de dos cuerpos se produce algo parecido a una soldadura en frío de las partículas más externas. Al intentar producir un movimiento entre ellas (en el inicio del movimiento) se deben romper esas minúsculas soldaduras. El desgaste por rozamien-





**Figura 1.3 a-c:** **a** Rozamiento. estático. **b** Rozamiento de deslizamiento. **c** Rozamiento de rodadura.

to se fundamenta en el mismo principio. Se puede reducir el trabajo necesario en los rozamientos estático y de deslizamiento usando algún tipo de engrasante o lubricante.

### Vector

Hasta ahora hemos observado la potencia (fuerza) y el movimiento como magnitudes individuales y hemos trabajado con los valores de las magnitudes básicas de la física (masa, tiempo, longitud, temperatura). En ningún momento se ha hablado de la dirección. Pero la fuerza no tiene ningún valor sin los datos de la dirección y de la magnitud de medida; una fuerza tiene un resultado "en algún lugar y sobre alguien". Por ello reúne las características de un vector.

**Definición:** Un vector es una magnitud física, que además de su valor (magnitud absoluta) tiene una dirección.

A través de las operaciones con los vectores se puede ver y representar numéricamente las sumas de fuerzas en la misma dirección y sentido, así como el resultado de fuerzas con sentidos distintos (incluso la influencia recíproca hasta su anulación). Las

cantidades aisladas (valores absolutos o magnitudes escalares) de un vector se denominan componentes, la fuerza final se denomina resultante.

**Nota recordatoria:** Las operaciones con vectores no siguen en todos sus aspectos las leyes del cálculo numérico; ya que se trata de magnitudes de orden superior (se puede aprender más sobre el tema en los libros de física). Hay que tener en cuenta siempre que un vector es una *magnitud espacial* y es, por tanto, *tridimensional*. La representación de los vectores nos permite visualizar el efecto de las fuerzas con direcciones diferentes en el paralelogramo de las fuerzas.

### Energía

Cuando en el cuerpo humano (quemando sustancias alimenticias) se desarrolla un trabajo para mantener las funciones vitales, cuando el ser humano quiere moverse o hablar, cuando una corriente de electricidad enciende una bombilla o un aparato terapéutico, se produce energía.

**Definición:** Energía es la capacidad de realizar un trabajo.

Energía es por tanto la liberación de la fuerza de trabajo almacenada, incluyendo la movilización de reservas, con el objetivo y el resultado de conseguir un efecto. Y para ello es válida la

*Ley de conservación de la energía:* "La energía no se crea ni se destruye. La energía sólo puede transformarse de un estado a otro".

Cualquier actividad, expresión u observación ya sea visible, potencial o imaginable supone un empleo de energía. El gasto de energía se iguala con el resultado obtenido. Cuando estos factores están relacionados tan favorablemente que con un mínimo trabajo se obtiene un máximo resultado, hablamos de una *actividad económica*.

Para la fisioterapia son importantes las siguientes formas de energía:

- Energía mecánica:
  - energía potencial (energía en reposo o disponible),
  - energía cinética (energía del movimiento),
- energía calorífica,
- energía química,
- energía eléctrica,
- energía de radiación (sobre todo rayos UVA e infrarrojos).

*Energía potencial* (energía disponible) es el trabajo necesario para desplazar un cuerpo de su estado de referencia a un nuevo punto de partida. Como mejor se puede ejemplificar es con el trabajo de elevar objetos, trabajo que el cuerpo, en reposo, que ha sido elevado, almacena como energía.

*Energía cinética* (energía del movi-

miento) es el trabajo necesario para hacer que un objeto pase de un estado de reposo a uno de movimiento a una determinada velocidad.

*Energía calorífica* es el movimiento de las moléculas desordenadas.

*Energía química* es la energía de enlace y básicamente es energía potencial.

*Energía eléctrica* (energía de campos) es portada por cuerpos (partículas) y campos de fuerza y se manifiesta al hacer actuar la energía cinética sobre cuerpos de prueba.

Una de sus formas es la *energía de radiación*.

Como consecuencia de la ley de la conservación de la energía parece claro que el viejo sueño del ser humano del *perpetuum mobile* no se hará realidad. Esa máquina necesita energía de un impulso externo, y una parte importante de energía se pierde por rozamiento.

*Nota recordatoria:* Según la ley de la conservación de la energía es imposible proporcionar energía interna sin recibir energía externa. Lo que siempre ocurre es la transformación de un estado de la energía en otro estado. Por ejemplo: la energía química del músculo del brazo al elevar una maza se transforma en energía potencial de esa herramienta. Al dejar caer la maza se produce energía cinética. Al chocar la maza con el suelo se produce energía calorífica.

## Trabajo

*Definición:* Trabajo es la acción de una fuerza con un objetivo. Trabajo es el producto de fuerza y recorrido.

Por tanto el trabajo es una magnitud dependiente; es producido.

*Ejemplos:*

- El trabajo de elevar (elevar un cuerpo / un miembro).
- El trabajo de acelerar un objeto (superación de la resistencia de un cuerpo).
- El trabajo del rozamiento (superación de la fuerza de rozamiento).
- El trabajo de dilatación (tensión de los cuerpos de dilatación elástica).
- El trabajo de presión (esfuerzo de deformación contra un sólido).

Los ejemplos de trabajo de aceleración y de presión se explican más extensamente como efecto dinámico y estático de la fuerza en otros tomos de la presente colección.

La magnitud del trabajo depende de la magnitud de la fuerza, que a su vez hay que relacionar con el recorrido a lo largo del cual se desarrollará.

*Nota recordatoria:* Trabajo no sólo es un concepto físico, sino también energético (ver apartado "Energía"). Incluso sobrepasa los límites de la definición de la mecánica. Se puede definir el trabajo como fundamento de todas las coberturas de demanda.

### Potencia

Potencia es el concepto del trabajo que se desarrolla en un tiempo determinado.

### Mecánica de líquidos y gases

Para comprender el proceso de la respiración —además del sistema car-

diocirculatorio y de la necesidad de energía y su consumo bajo condiciones normales y patológicas—, se estima necesario el conocimiento de algunas leyes físicas para:

#### Líquidos en reposo (hidrostática)

- presión hidrostática,
- empuje hidrostático.

#### Gases en reposo (aerostática)

- presión del gas,
- solubilidad de los gases,
- presión del aire.

#### Líquidos y gases en movimiento (hidro y aerodinámica)

- fluidos y corrientes,
- viscosidad,
- velocidad de las corrientes,
- movimiento de sólidos en líquidos o gases.

### Líquidos

*Definición:* Los líquidos se diferencian de los sólidos en la falta de forma propia; se adaptan a la forma de cualquier recipiente.

Los gases tampoco tienen forma fija, pero además poseen la característica de llenar cualquier recipiente en que se introduzcan y de combinarse con otros gases.

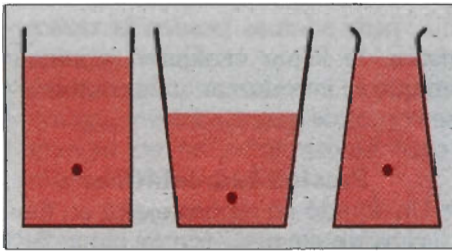
#### Presión hidrostática

- Un líquido en reposo ejerce en función de su peso (de la gravedad) una presión que se denomina presión gravitatoria. La presión gravitatoria es proporcional a la altura de la presión (se corresponde con la distancia desde el punto de medida con la superficie del líquido) (ver Figura 1.4) y depende del peso específico del líquido. Por

tanto no depende de la cantidad de líquido o de la forma del recipiente.

**Consecuencias:** En líquidos, los cuales están sometidos a la presión gravitatoria, aumenta la presión hidrostática al descender. También los líquidos corporales del ser humano están sometidos a la presión gravitatoria. En enfermos del sistema cardiocirculatorio cuanto más reducida sea la velocidad de la corriente circulatoria, mayor influencia tendrá la presión gravitatoria, por ejemplo en el caso de edematización. Así, lo siguiente que un enfermo de corazón —siempre que no esté tumbado— desarrollará serán edemas en los tobillos y las piernas.

- Una segunda forma de presión hidrostática es la presión que puede ser ejercida con un pistón o émbolo sobre un líquido en un recipiente que por lo demás está cerrado. Dado que la capacidad de



**Figura 1.4:** Presión hidrostática o gravitatoria. Obsérvese: En los tres recipientes la presión en el punto \* es la misma (hay la misma distancia desde la superficie del líquido al punto de medida) independientemente de la forma del recipiente o de la cantidad de líquido. Sin embargo sólo en los recipientes de los extremos la presión en el suelo del recipiente es la misma (más información en el texto) (de Sckell).

compresión de los líquidos es mínima, la presión se distribuirá en todas las direcciones.

La ley de la transmisión de la presión en todas direcciones dice: “La presión ejercida sobre un líquido se distribuye en todas las direcciones con la misma intensidad”.

**Consecuencia:** Dado que el cuerpo humano está en gran medida compuesto por agua, cualquier presión que se ejerza sobre partes blandas será transmitida por estas. El masaje *sous l'eau* (bajo el agua) ejerce por tanto una doble presión hidrostática (la de la presión gravitatoria del agua y la del masaje en sí) y significa un fuerte estímulo mecánico.

### Empuje hidrostático

El principio de Arquímedes (¡una ley natural!) dice: “Aparentemente todos los cuerpos sumergidos en un líquido pierden tanto peso (presión en la superficie de apoyo) como pesa el volumen de líquido han desalojado”.

La aparente pérdida de peso no es más que el empuje hidrostático que experimentan los cuerpos (por tanto no se puede alcanzar una disminución de peso sólo bañándose.) En los cuerpos sumergidos en un líquido opera una fuerza hacia arriba contraria a la presión gravitatoria. ¿Cómo puede suceder esto? La presión hidrostática dentro de un líquido tiende a levantarlo. Por tanto en la parte inferior del objeto sumergido existe una presión mayor que en la parte superior. Además el empuje hidrostático es mayor cuanto mayor sea la densidad



del líquido y cuanto mayor sea el volumen del cuerpo.

Según estas premisas se desprenden las siguientes consecuencias sobre el comportamiento de un cuerpo que ha sido sumergido en un líquido:

- Si el empuje hidrostático y el peso de un cuerpo son iguales, el cuerpo flotará en cualquier punto dentro del líquido.
- Si el empuje hidrostático es menor que el peso del cuerpo, éste se hundirá.
- Si el empuje hidrostático es mayor que el peso del cuerpo, éste flotará hasta una altura del propio cuerpo que compense el valor del empuje hidrostático (hasta que desaloje la cantidad de líquido que compensa el peso del cuerpo): nadará.

### **Aplicación en fisioterapia:**

Ejercicios de movilidad en el agua cuando la fuerza muscular esté reducida (por ejemplo, por atrofia debida a inactividad) y ejercicios de esfuerzo limitado (tras una fractura de columna). Aumento del empuje hidrostático gracias a chalecos de corcho o reducción por medio de pesos atados. Como podemos ver, el empuje hidrostático se puede dosificar para cada individuo.

### **Gases**

**Definición:** Los gases son cuerpos aeriformes sin forma ni volumen definidos. Al contrario que los vapores, no se pueden licuar.

**Propiedades:** Los gases y los vapores tienden a la expansión. Cuando están encerrados en un recipiente

ejercen una presión contra las paredes del mismo (presión gaseosa / de vapor).

### **Teoría cinética de los gases**

Cuerpos aeriformes, gases y vapores están compuestos por moléculas que están totalmente separadas las unas de las otras y que se encuentran en un permanente estado de movimiento lineal. Al chocar con otras moléculas del gas son apartadas de su trayectoria rectilínea desplazándose en zigzag. Este movimiento de las moléculas es la razón de la presión de los gases y también de su tendencia a la expansión.

Los gases ideales serían aquellos en los que, entre sus moléculas, no existieran fuerzas de atracción, pero sí de rozamiento. Al contrario que el líquido ideal, que se definiría como aquel en el que no existe rozamiento pero sí fuerzas de atracción (entre sus moléculas).

Los gases reales se someten a las denominadas fuerzas de Van der Waals, es decir, las moléculas se atraen entre sí. A temperatura ideal y especialmente a altas temperaturas el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y los gases nobles se acercan bastante al concepto de gas ideal.

### **Presión parcial del gas**

Cuando en un recinto cerrado se encuentran varios gases que no reaccionan químicamente entre sí, la presión resultante es la suma de las presiones parciales que ejercería cada uno de los gases si fuera él solo el ocupante del recinto. La presión parcial juega un papel importante en el

proceso de la respiración, en el transporte del oxígeno-nitrógeno en la sangre y en la solubilidad de los gases (ver después).

### Algunos datos sobre la presión de los gases

El aumento de temperatura produce una aceleración en el movimiento de las moléculas. Con ello se produce a) un aumento de volumen y b) un aumento de la presión del gas.

*Nota recordatoria:* El "estado" de un gas lo determinan tres magnitudes: temperatura, presión y volumen; el gas sólo varía si una de las tres magnitudes varía (Müller y Gräfe 1978).

Tanto para los líquidos como para los gases es válido:

- que ejercen una presión denominada  $p$  sobre las paredes que los encierran, que se define como la fuerza ( $F$ ) que se ejerce contra una superficie ( $S$ ):  $p = F : S$ ;
- que están sometidos a la ley de la transmisión de la presión en todas direcciones.

### Solubilidad de los gases

- Los gases son solubles en los líquidos.
- El proceso de disolución se denomina absorción. Si el aire no fuera soluble en agua, no podrían vivir animales en el agua.
- La disolución de gases en líquidos aumenta con el aumento de la presión y es proporcional a la presión del gas sobre el líquido (Regla de Henry).

Como ejemplo de la vida diaria podemos mencionar la liberación de  $CO_2$  al abrir —disminución de la presión— una botella de agua mineral. Esta regla tiene importancia en el sistema hemodinámico sobre todo al sumergirse (peligro de contraer el síndrome de Caisson o aeroembolismo al salir a la superficie demasiado deprisa).

- La solubilidad de los gases en los líquidos aumenta al aumentar la temperatura.

Para las mencionadas reglas hay que hacer, según Müller y Gräfe (1978), dos puntualizaciones:

- En caso de que entre el líquido y el gas se den condiciones químicas las reglas serán parcial o totalmente inválidas.
- La solubilidad de un gas es limitada. Cuando la solución tiene el gas suficiente se denomina saturación.

Cuando se disuelve una mezcla de gases en un líquido la absorción de los diferentes gases se realiza según su presión parcial. La relación de solubilidad del oxígeno y el nitrógeno en el agua es 1:2 (mientras que en el aire es 1:4). Por ello los animales acuáticos disponen de menos aire, pero de una buena relación oxígeno-nitrógeno.

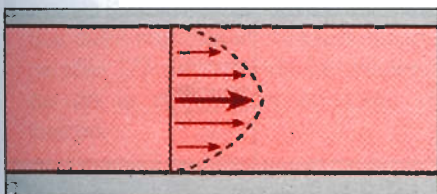
### Presión atmosférica

El aire es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, gases nobles y dióxido de carbono. Dado que la atmósfera que rodea a nuestra tierra tiene unos 100

km de altura, ejerce una presión considerable sobre aquella y sobre todos los seres que vivimos en ella. La fuerza de atracción de la tierra impide a la atmósfera repartirse por toda la superficie como un gas ideal. En vez de esto ejerce —a semejanza de los líquidos— una presión gravitatoria que es mayor en la superficie de la tierra. La llamamos presión atmosférica. En general no la notamos; sólo al ascender montañas, en grandes alturas, en aviones o en cabinas de compensación de presión somos conscientes de ella porque nos falta la respiración. También la reducción de la presión parcial de oxígeno nos hace más difícil la respiración.

### Hidrodinámica y aerodinámica

Los líquidos que fluyen están sometidos, en condiciones reales, a dos resistencias: una fricción interna y otra externa. La primera se exterioriza mediante un desplazamiento de las partículas líquidas unas contra otras y se denomina **viscosidad**; la segunda depende de la firmeza y las condiciones de la superficie de la pared del conducto (o del canal), y puede provocar turbulencias (torbellinos dentro del líquido).



**Figura 1.5:** Perfil parabólico de la distribución de velocidades en una corriente laminar (ver texto). La longitud de las flechas señala las diferencias de velocidad (de Müller y Gräfe).

### Corriente laminar-viscosidad

Si un líquido fluye por un canal o por un tubo, precisa para ello una fuerza que tiene que ser más grande que la resistencia de la corriente.

La resistencia de la corriente surge principalmente por la fricción de las moléculas unas contra otras. Esta fricción interna (viscosidad) es, dependiendo del tipo de líquido, mayor o menor; en la sangre, por ejemplo, es mayor que en el agua y se intensifica mediante la disolución de cuerpos sólidos en el líquido (¡piénsese en la disolución del azúcar!).

Los líquidos que fluyen se disgregan en capas que se deslizan unas contra otras, sin interferirse, desarrollando así un perfil de velocidades (Figura 1.5): en el centro del tubo la velocidad de la corriente es máxima, las capas adyacentes se mueven en dirección al borde con una velocidad cada vez más pequeña, hasta alcanzar la capa externa, que está fuertemente adherida a la pared del tubo. Así surge una distribución parabólica de velocidades.

Puesto que en una situación así se pueden delimitar diferentes capas, se la denomina corriente laminar (lámina = capa).

### Reglas del rozamiento interno

- La viscosidad depende de la temperatura; disminuye si la temperatura sube y se intensifica si baja la temperatura.
- La viscosidad aumenta mediante la disolución de sustancias sólidas.
- La viscosidad ocasiona, al fluir, que una parte de la energía cinética se convierta en energía calorífica.



### Velocidad de la corriente-resistencia de la corriente

Si un líquido fluye por un único conducto de sección variable, la velocidad de la corriente es mayor en los puntos más estrechos; en los tramos con mayor sección, es menor (Figura 1.6). Esto hace que por cada sección fluya en el mismo período de tiempo el mismo volumen de líquido.

En contra de lo que cabría esperar, en las zonas con mayor velocidad de corriente, la presión contra la pared del tubo y en el mismo líquido, es menor que en las zonas con menor velocidad de corriente (paradoja de Bernouilli). Sobre el entorno de la zona estrecha se ejerce un efecto de succión.

Si un líquido fluye por un sistema de tuberías ramificado (esto se puede aplicar a la circulación sanguínea), la velocidad de la corriente en cada una de las ramificaciones es menor que la velocidad en el tubo inicial y en el tubo final (Figura 1.7). El origen de ello reside en que la sección total del tubo en esas partes inicial y final es menor que la suma de las secciones transversales de todas las ramificaciones.

El flujo de líquidos viscosos con corriente laminar se calcula según la *Ley de Hagen-Poiseuille*. La aplicación indiscriminada de esta ley sobre la corriente sanguínea no es factible a causa de algunas particularidades de la corriente sanguínea.

### Viscosidad de la sangre-sistema circulatorio

La sangre, en cuanto a su naturaleza de líquido viscoso, está sometida

a las leyes de rozamiento interno. Por ello se hace necesario puntualizar algunas consecuencias y particularidades:

La fuerza necesaria para la corriente laminar la proporciona el efecto de bombeo del corazón. La viscosidad específica de la sangre es aproximadamente cuatro veces la del agua; sin embargo, existen algunas diferencias dependiendo de la edad y del sexo (en los hombres los valores son mayores y alcanzan el tope de viscosidad antes que en las mujeres). Según Müller y Gräfe (1978) los valores se incrementan haciendo las mediciones en un baño frío o en aire caliente. Además, se observa que la viscosidad también es mayor tras haber ingerido alimentos (disolución de las sustancias alimenticias) que en ayunas.

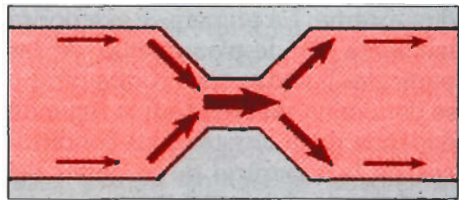


Figura 1.6: Aumento de la velocidad de la corriente en un paso estrecho (ver texto).

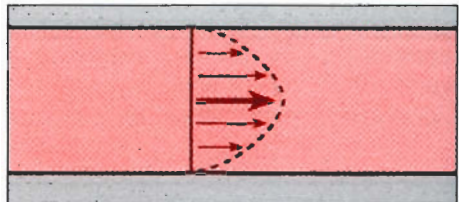


Figura 1.7: Disminución de la velocidad de la corriente en un sistema de tubos ramificado (como en la circulación sanguínea). El tamaño de las flechas marca la velocidad de la corriente.

Desde el punto de vista de la física es importante tener presente para el sistema circulatorio:

- La sangre circula prácticamente por todas las partes del cuerpo de manera laminar y desarrolla un perfil parabólico de velocidades.
- Los hematíes circulan en la zona axial de la corriente sanguínea de los capilares y, por lo tanto y en función del perfil de velocidades, son arrastrados mucho más rápidamente que los leucocitos, que se desplazan en posición más cercana a las paredes del vaso sanguíneo.
- Por tanto, los eritrocitos se desplazan por el sistema circulatorio recorriendo un mayor espacio, en la misma cantidad de tiempo, que los leucocitos.
- En circunstancias normales sólo se encuentran turbulencias directamente debajo de las válvulas del corazón. Las turbulencias en una vena (por ejemplo, por lesiones de las paredes vasculares) pueden provocar una trombosis.
- La velocidad en arterias y capilares está sometida a oscilaciones por la actividad rítmica de "bombeo" del corazón.
- En el sistema circulatorio de los pulmones la resistencia de la corriente, que debe superar el corazón, supone sólo 1/7 del total de la resistencia en la circulación en todo el cuerpo.

### **Rozamiento de cuerpos sólidos en líquidos y gases**

Todos los cuerpos que se mueven en un líquido o en un gas sufren una resistencia; la razón es la fuerza de

rozamiento. El rozamiento es proporcional a la velocidad, es decir, aumenta cuando aumenta la velocidad.

**Uso en fisioterapia:** Tratamientos de movilidad en el agua con variación en el trabajo por medio de cambios de velocidad.

### **Aerodinámica**

Todas las leyes y requisitos mencionados en la hidrodinámica se pueden usar análogamente para los gases.

## **1.2.2. Fundamentos anatómicos y físicos del movimiento**

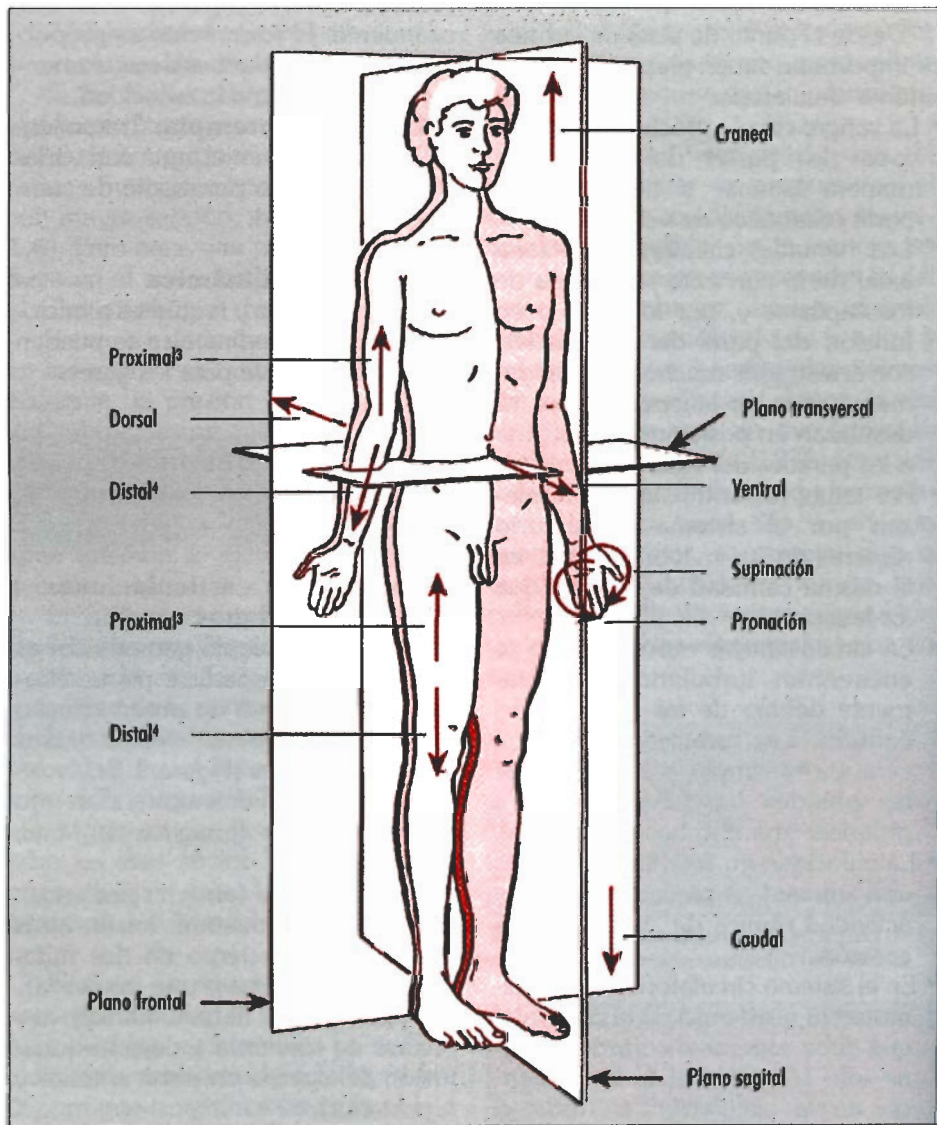
### **Planos - ejes - articulaciones** **Planos**

El plano (concepto geométrico) es una sección o superficie plana. Proporciona un punto de observación o de referencia de un cuerpo y sus uniones con otros (Figura 1.8).

Todos los movimientos cortan uno de estos planos (imaginarios); bien sea

- El plano *sagital* (anterior-posterior): discurre de delante hacia atrás (división del cuerpo en dos mitades, una derecha y una izquierda).
- El plano *frontal* (lateral-medial): discurre de izquierda a derecha (división del cuerpo en parte anterior y posterior).
- El plano *horizontal* (transversal): discurre paralelo al suelo a la altura deseada (división del cuerpo en partes superior e inferior).

Los planos principales dividen el cuerpo en partes del mismo tamaño.



**Figura 1.8:** Planos y direcciones funcionales (según Alverdes, Tittel, Groves y Camaione).

<sup>3</sup> Proximal: Más cerca de un centro, tronco o línea media; opuesto a distal. (N de la T.)

<sup>4</sup> Distal: Remoto, periférico, más alejado del centro, origen o cabeza; opuesto a proximal. (N de la T.)

En el punto de encuentro de los tres planos se encuentra el centro de gravedad de un cuerpo.

### Ejes

La línea de corte de dos planos constituye un eje. El movimiento se realiza alrededor de los ejes que constituyen los tres planos mencionados.

En los movimientos del cuerpo humano, que por anatomía no pueden realizarse más que en las articulaciones, se distinguen movimientos de uno, dos o más ejes. De ello se desprende que las direcciones de los movimientos pueden ser unidimensionales, bidimensionales o pluridimensionales.

*Nota recordatoria:* El eje de cualquier movimiento humano está en la articulación. Es una particularidad de las condiciones anatómicas del ser humano que todas las articulaciones distales de las extremidades sean puramente de un eje, y las proximales (hombro y cadera) sean pluridimensionales; también existen articulaciones de movimiento bidimensional. Esta estructura gana significado cuando analizamos la forma de movimiento del ser humano. El proceso de movimiento nunca está libre de rotación. Incluso los movimientos claramente de avance se componen de una suma de muchas rotaciones elementales.

Los componentes fundamentales del movimiento del cuerpo humano son:

- Movimiento de bisagra o charnela (uniaxial, flexión-extensión).

- Movimiento de bisagra con componentes de rotación (rodilla, codo).
- Movimientos de rotación (tridimensionales, cadera, hombro).

Durante un movimiento de rotación es posible que ocurran alargamientos de los ejes de movimiento. Por medio de esto, y en determinadas circunstancias, el movimiento puede tener un final distinto del previsto originalmente.

Dependiendo de nuestros ejes de articulación son posibles las siguientes formas de movimiento:

- Flexión (un cuerpo o parte de un cuerpo se dobla).
- Extensión (un cuerpo o parte de un cuerpo se alinea).
- Giro (un cuerpo o parte de un cuerpo gira sobre sí mismo).

*Nota recordatoria:* Cualquier movimiento (parcial o combinado) se puede reducir a movimientos de bisagra y rotación, y contienen únicamente formas de movimiento de flexión, extensión o giro.

### Movilidad y estabilidad de las articulaciones

*Nota previa:* Móvil y estable son conceptos que se usan de maneras muy diferentes y que tienen contenidos muy variables en nuestro vocabulario; también en el ámbito de la medicina puede ser diferente lo que se quiere indicar. Se habla por ejemplo de "mentes inestables", o se quiere "estabilizar" el sistema circulatorio.

*Definimos*

- Movilidad como capacidad para moverse.



- Estabilidad como situación de equilibrio o como la capacidad para resistirnos a una fuerza que nos proporcionaría movimiento.

La movilidad de una articulación es dependiente de su construcción, es decir, de sus condiciones anatómicas. Lo contrario de movilidad es estabilidad (Figura 1.9 a-d).

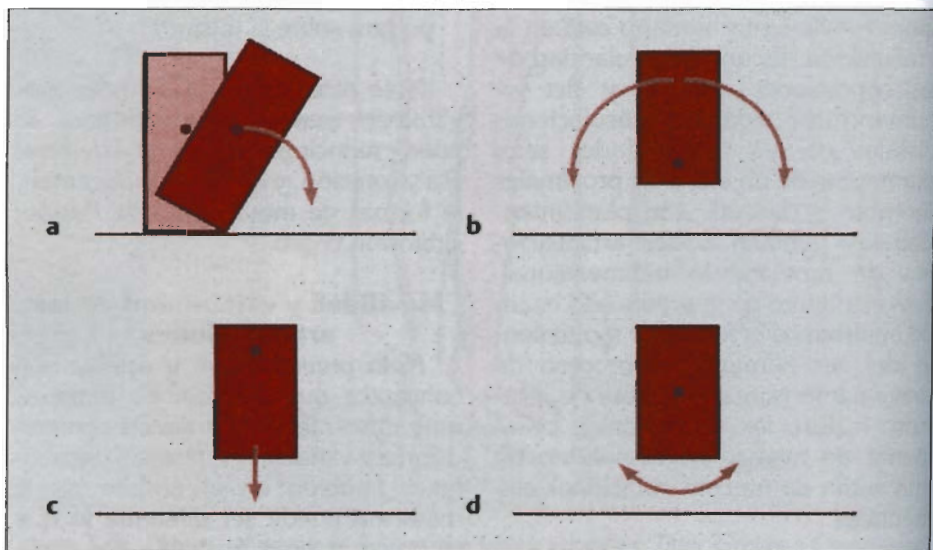
*Nota recordatoria:*

- Cuanta mayor movilidad permita la anatomía de una articulación menor será su estabilidad. Esta definición es igualmente válida al contrario.
- Las "herramientas" de la movilidad son las mismas que las de la estabilidad. Decisivo para el resultado

es si prevalece un equilibrio de las fuerzas (reposo) o si la suma de todas las fuerzas y momentos de giro que actúan sobre el cuerpo está distribuida irregularmente, por lo que se produce un movimiento.

- El margen de movimiento depende de la estructura ósea de la articulación y por lo tanto no es variable, además de la estructura de su cápsula y de la tensión y dirección del recorrido de los tendones y ligamentos. Estos elementos se ordenan dentro del aparato pasivo del movimiento.

La estabilidad es además dependiente del número y la fuerza de los



**Figura 1.9:** Relación entre centro de gravedad, estabilidad e inestabilidad. (de Müller y Gräfe). **a** En caso de que la perpendicular bajada desde el centro de gravedad esté fuera de la superficie de apoyo, el cuerpo vuelca. **b** Centro de gravedad por encima del punto de suspensión = equilibrio inestable. **c** Centro de gravedad por debajo del punto de suspensión = equilibrio estable. **d** Punto de suspensión en el centro de gravedad = equilibrio indiferente, el equilibrio no se modifica al girar el cuerpo.

músculos que rodean el plano de la articulación.

El resultado de cualquier movimiento es el resultado de una acción muscular y su oponente. Ambos determinan la:

- Dirección del movimiento.
- La rapidez del movimiento.
- La fluidez del proceso del movimiento.
- El punto de detención dentro del movimiento.

*Nota recordatoria:*

- Todos los músculos que nos proporcionan movimiento pueden, con ayuda de su oponente (antagonista), proporcionarnos estabilidad.
- Cualquier movimiento puede, de manera automática, ser detenido, prolongado, llevado a su punto de inicio o a su posición final (estabilidad) durante el proceso del movimiento

### Mecánica de los músculos

La articulación es el lugar donde ocurren los movimientos visibles. El movimiento tiene aquí su punto de giro.

El movimiento se hace efectivo contrayendo los músculos que rodean la articulación y que mueven los huesos correspondientes como una palanca cambiando de posición a) uno contra otro y b) contra el centro de gravedad. El movimiento por medio de la contracción de los músculos sólo es posible cuando el contrario de un músculo reduce su acción de tensión en la misma magnitud, velocidad y medida en las que necesi-

ta el actor (agonista) para ejecutar momentáneamente el movimiento deseado.

*Nota para recordar:*

- El movimiento es dependiente de una contracción de los músculos, que tiene su efecto en la articulación.
- El movimiento es dependiente del equilibrio entre la contracción de los agonistas y la correspondiente relajación de sus antagonistas.
- La contracción simultánea y equivalente del agonista y antagonista dificulta el movimiento y conduce a la estabilización de la articulación.
- Las acciones realizadas en el mismo sentido con distintos músculos o grupos de músculos se denominan actividades sinérgicas.

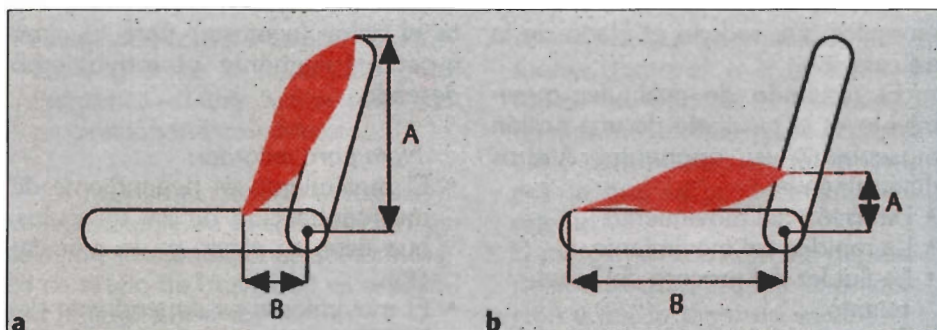
Según las leyes de la palanca correspondientes (ver apartado correspondiente) son decisivas para el efecto de una acción muscular:

- La distancia entre el inicio y el fin del músculo.
- La distancia entre punto de giro (articulación) y el comienzo del músculo.

El *músculo de trabajo dinámico* (Figura 1.10a) tiene su origen (mecanismo funcional: *punctum fixum*) más alejado de la articulación a la que influye que su fin ( $A > B$ ).

*Ejemplo:* M. bíceps braquial.

El *músculo de trabajo estático* (Figura 1.10b) tiene su origen cerca de la articulación y su fin (mecanismo



**Figura 1.10 a y b:** Diferencias de relación de longitud entre el inicio y el fin de los músculos en relación con el punto de giro de la articulación entre músculos **a** dinámicos y **b** estáticos (para más información ver el texto).

funcional: *punctum mobile*) alejado de él ( $A < B$ ).

*Ejemplo:* M. aductor corto.

**Consecuencias:** La actividad de los músculos dinámicos es más rápida, efectiva e interrumpida por menores resistencias para el resultado del movimiento. La fuerza de los músculos estáticos actúa en la dirección del hueso (tangencial).

En el movimiento del ser humano y en la conservación de la postura (que representa una interrupción momentánea del proceso de movimiento actual) se produce una mezcla de trabajo de los músculos dinámicos y estáticos. Cuando en un proceso de movimiento hay que superar alguna resistencia mayor de lo habitual, se genera una sinergia de músculos dinámicos y estáticos.

### Fisiología del movimiento

Habíamos definido los movimientos como efecto dinámico de la fuerza y explicado el concepto "trabajo" (que se puede originar con ella) desde el punto de vista físico. En este punto

tenemos que acentuar que todos los movimientos representan un papel importante en los significativos factores físicos y energéticos.

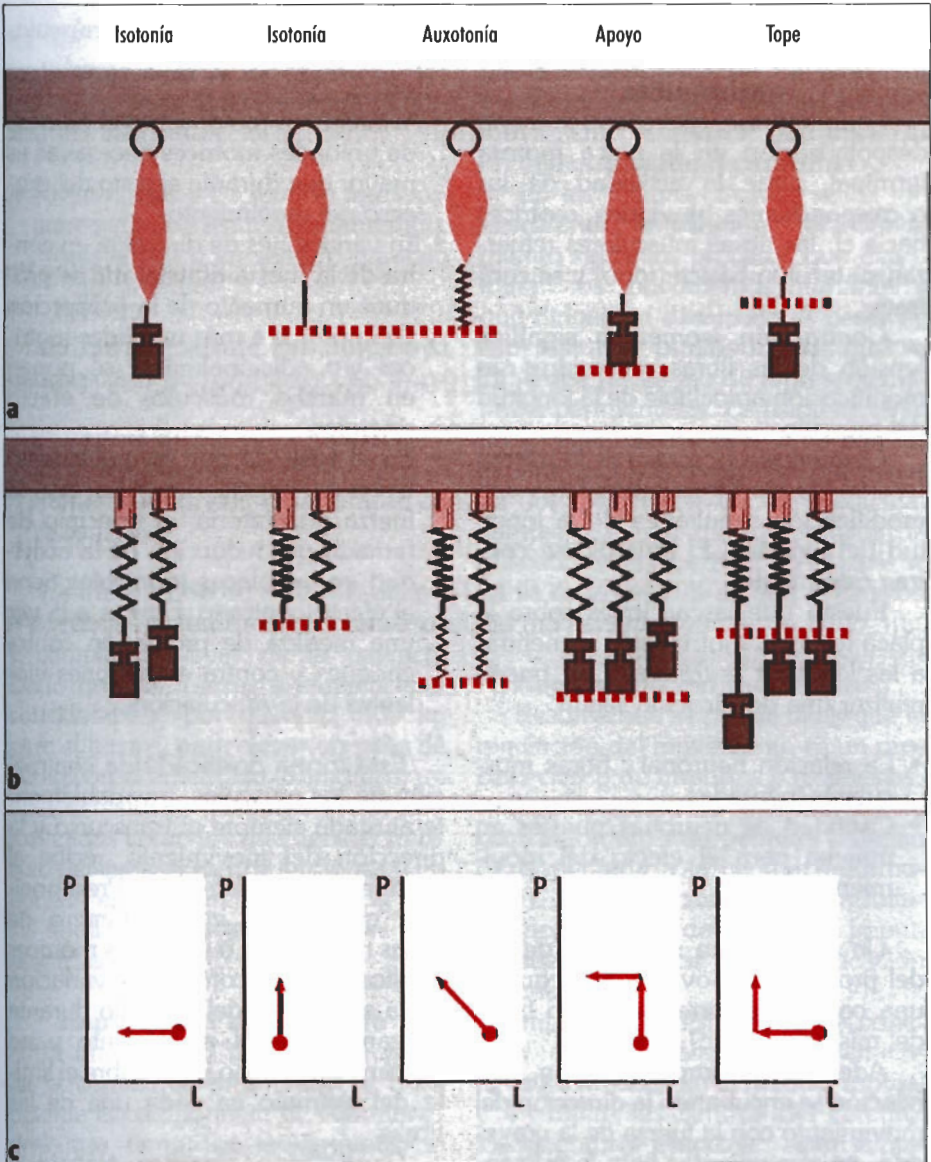
El movimiento tiene, por tanto, unos fundamentos físicos y fisiológicos que deben ser tenidos en cuenta para su comprensión.

¿Qué importancia tiene la "fisiología del movimiento"?

El movimiento tiene lugar por medio de la actividad del músculo estriado. Al contrario que el músculo liso de los órganos internos, es la *voluntariedad* la que define el momento y el objetivo del movimiento. Típico de la contracción y relajación de las fibras musculares estriadas es la velocidad de la acción.

La contracción tiene dos formas mecánicas diferentes, teniendo en cuenta la relación de tensión y longitud de las fibras musculares; una tercera forma es la resultante de la combinación de las dos fundamentales (Figura 1.11a-c). En el próximo apartado se explicarán las formas básicas.





**Figura 1.11 a-c:** Formas de contracción del músculo. **a** Las diferentes condiciones mecánicas. **b** El comportamiento entre los elementos funcionales intramusculares. Las columnas representan las partes contráctiles y los resortes son las partes elásticas; la representación es amplia y según un modelo. **c** El diagrama de las correspondientes longitudes-tensiones (de Brecht).

### **Contracciones musculares isométricas, isotónicas y auxotónicas**

Cada impulso, que conduce a una despolarización en la placa motora terminal, atrae la actividad de las correspondientes unidades motrices hacia sí: las fibras musculares refuerzan su tensión básica (tono) y se contraen.

*Contracción isométrica* significa tensión de las fibras musculares sin modificación apreciable de la longitud del músculo.

*Contracción isotónica* es la misma tensión de las fibras musculares con modificación simultánea de la longitud del músculo. El músculo se contrae claramente.

Puesto que las acciones sobre la placa terminal motriz están sometidas a las leyes de la fisiología, se puede realizar una dosificación según:

- La relación neuronal / fibras musculares inervadas.
- Cantidad de neuronas puestas en marcha para el efecto del movimiento.

Un movimiento uniforme (dentro del proceso de movimiento) requiere una contracción irregular (a lo largo del mismo proceso).

Además, es importante en qué relación se encuentren la dirección del movimiento con la fuerza de la gravedad; en movimientos bajo la influencia de la fuerza gravitatoria o sin ella (dependiendo de la posición de partida del cuerpo), y a pesar de que el objetivo planificado sea el mismo, puede suceder que se necesiten pro-

cesos de contracción de los músculos totalmente diferentes:

- Al iniciar un movimiento el número de unidades motrices necesarias es mayor que durante el resto del proceso del movimiento.
- En variaciones de dirección en contra de la fuerza gravitatoria se produce un aumento de la proporción de impulsos a más unidades motrices y/o adicionalmente se ponen en marcha músculos de efecto sinérgico.
- En el caso de que el movimiento tenga la misma dirección que la fuerza gravitatoria, el principio de frenado por reducción de la actividad en las placas terminales tiene el efecto contrario. Esto es a la vez una medida de protección contra choques y contra extensiones violentas de la articulación.

Esta forma dosificada de contracción de los músculos, invariablemente ajustada siempre al transcurso y la dirección del movimiento, recibe el nombre de *auxotónica*. Presupone una graduación en el número de fibras musculares o unidades motrices implicadas, así como una variación de la intensidad del estímulo durante el transcurso del movimiento y no descansa en último lugar sobre el límite del estímulo en cada una de las fibras.

Contracción significa trabajo y requiere empleo de energía local. La fuerza de la contracción depende también de la medida de la extensión en reposo y presupone una elasticidad del tejido muscular. El recorrido

de las fibras representa un papel importante para la idoneidad de los músculos para determinados rendimientos de contracción:

- Fibras cortas y en sentido transversal  $\Rightarrow$  trabajo / esfuerzo mantenido.
- Fibras largas y en sentido paralelo  $\Rightarrow$  movimiento.

*La fuerza absoluta del músculo la determina*

- El número de fibras (corte transversal del músculo).
- Número de fibrillas almacenadas en cada fibra.

La transmisión de la fuerza ocurre a través de los tendones y ligamentos y cumple las leyes de la palanca. Dado que las fuerzas a emplear son considerables (por ejemplo, 200 kg para el bíceps, para elevar un peso de 20 kg con el antebrazo extendido), un tendón contiene (Heipertz 1980) tantos tejidos como los que tiene el músculo del estómago. Los tendones y las fibrillas están entrelazados: aun así, las fibrillas de los tendones son más delgadas.

### **Impulso del movimiento**

El impulso del movimiento parte de la corteza cerebral. Aquí se hace patente el componente de voluntariedad que tiene un movimiento: la orden de la central activa una acción periférica. La transmisión del impulso está unida a procesos eléctricos (conexión nerviosa) y químicos (en la placa motora terminal). Dado que el número de fibras a las que abastece

una fibra nerviosa en la transmisión del estímulo puede ser diferente, las contracciones resultantes, así como el movimiento resultante, pueden tener un diferente grado de exactitud.

En las últimas décadas se ha ido descifrando ampliamente el conocimiento sobre los procesos que determinan los movimientos humanos y que dirigen su desarrollo. A pesar de ello aún hay puntos en los que se debe que hacer uso de representaciones experimentales. La fisioterapia se ha compenetrado sobre todo con las experiencias y conocimientos técnicos de los principios de la medicina. También se han usado modelos de reflexión de la cibernética. Así pues se habla cada vez más de una regulación del movimiento.

### **Regulación del movimiento**

Resumiendo se puede decir que la regulación del movimiento es un proceso cíclico de impulsos y respuestas.

Los impulsos se mandan de la central (orden) a la periferia o llegan de la periferia a la central (información). La interacción sobre el resultado momentáneo del efecto del impulso puede conducir a la modificación de una orden.

Importantes "estaciones de conexión" de la regulación del movimiento están situadas en la médula espinal y en diferentes centros del cerebro, los receptores esenciales están alojados en los husos musculares y tendones. Por estos motivos y en condiciones normales se posibilita una adaptación adecuada de los impulsos motores a las posibles exigencias (aceleración o desaceleración de un



movimiento, transformación de un movimiento en una parada, mantenimiento de un movimiento al cambiar la posición del cuerpo).

La transmisión del impulso se realiza por medio de fibras de diferente tipo. Son importantes las conexiones con el cerebelo para la coordinación y para el tono muscular.

Los enlaces entre el "centro regulador" de la motricidad y el del ámbito sensorial son necesarios para incluir la información y los impulsos de nuestros órganos sensoriales y órganos táctiles en el proceso del movimiento, ya que el movimiento no es un objetivo en sí mismo, sino una reacción, un acuerdo y un deseo de expresión frente al entorno.

### **Preparación y gasto de la energía**

*Definición de la energía:* Energía es la capacidad para desarrollar un trabajo.

Para cada actividad se necesita energía. Esto también es válido para el tratamiento fisioterapéutico, ya que el movimiento es un elemento básico de la fisioterapia y el ejercicio es, desde el punto de vista físico, el efecto dinámico de la fuerza, es decir, trabajo.

#### **¿De dónde toma el cuerpo humano la energía necesaria?**

El consumo de energía sólo puede ser cubierto de manera parcial por los depósitos celulares; la célula necesita y usa, simplemente para el mantenimiento de su estructura y tener disponibilidad para entrar en funciona-

miento, una cantidad importante de energía.

El ejercicio, por tanto, presupone un incesante suministro, transporte y gasto de energía, a menudo en cantidades cada vez mayores. Esto obliga a una relación íntegra entre la sangre y el movimiento circulatorio.

De manera resumida (para más información ver Fisiología), el cuerpo soluciona el problema de la disponibilidad de energía de la siguiente forma:

Los hidratos de carbono y las grasas son los proveedores de energía para las células, en algunos casos también las proteínas, que son transportados por la sangre tras la ingestión de alimentos. El cuerpo prepara reservas: hidratos de carbono (en su forma de almacenamiento que es el glucógeno) sobre todo el hígado y la musculatura y grasa como relleno debajo de la piel. El exceso de hidratos de carbono hace que éstos se transformen en grasa (¡sólo por eso engordan las patatas!).

La liberación de la energía se produce de dos maneras muy sencillas:

- anaeróbia, es decir, sin ayuda de oxígeno,
- aeróbia, es decir, con ayuda de oxígeno para el catabolismo del "depósito" al transformar la energía.

El *catabolismo anaeróbico* se adecua a usos de energía rápidos y cortos; tiene un efecto útil básicamente inferior al del tipo aeróbico y presupone en las células un sistema de enzimas muy productivo. Como consecuencia de la liberación de energía

anaerobia de los hidratos de carbono se produce una rápida e intensa acidificación, primero de los músculos que trabajan y después de todo el organismo. Gracias a esto y pocos minutos después se fuerza una compensación del trabajo. Hasta un cierto límite se puede mejorar la elaboración anaerobia de las sustancias que contienen la energía con *entrenamiento*: al aumentar la cantidad de enzimas en las células se consigue una mejora de la absorción de las sustancias que transporta la sangre. Una actividad enzimática más elevada produce una mejora del aprovechamiento de la oferta (efecto de utilización). Las personas entrenadas necesitan, por tanto, menos sangre en los músculos que trabajan para conseguir el mismo resultado que las personas desentrenadas. El consumo de energía será más económico. Este efecto del entrenamiento se puede conseguir también, dentro de unos límites, a edades avanzadas.

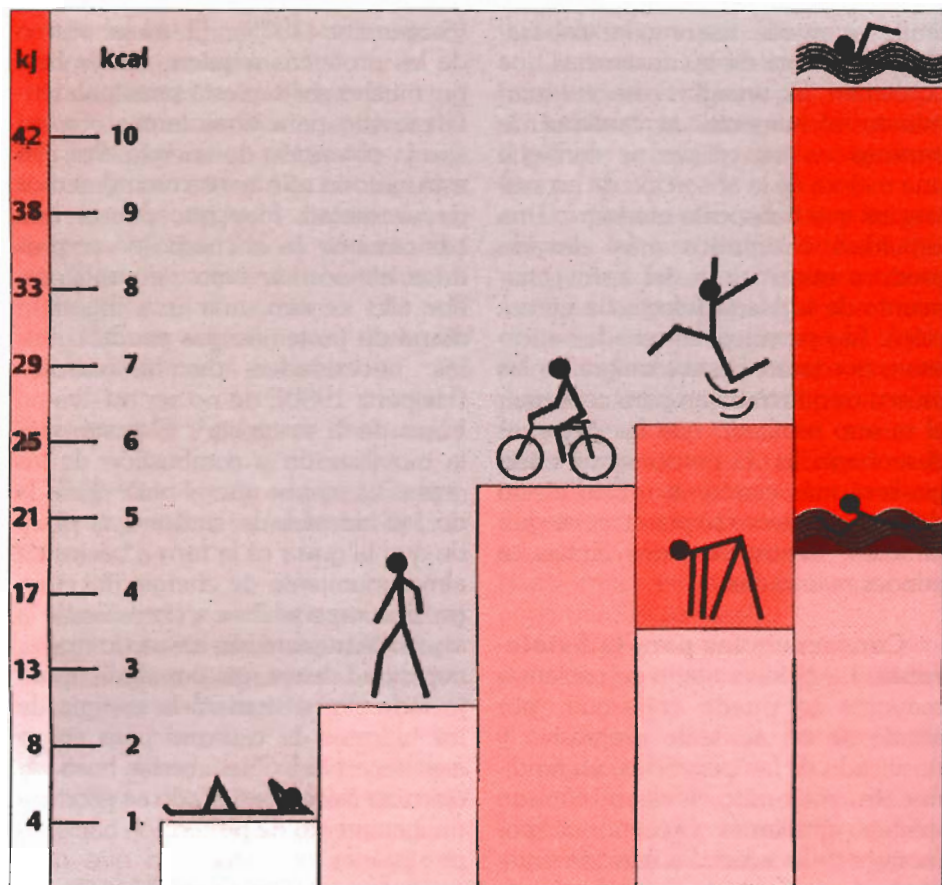
**Consecuencias para la fisioterapia:** En el tratamiento de pacientes mayores se puede conseguir, por medio de un aumento progresivo y dosificado de las exigencias, un rendimiento mejorado incluso cuando existen problemas circulatorios por motivos de la edad. La relación entre oferta de energía y su uso se hará más económica. Condiciones previas: no tener alterado el sistema enzimático celular. Los trabajos continuados o de larga duración presuponen un *intercambio aerobio* de sustancias (catabolismo de las reservas de energía por combustión con el oxígeno). El con-

sumo de oxígeno para la preparación de la energía es dependiente del tipo de "portador" de la energía: hidratos de carbono y proteínas necesitan más o menos la misma cantidad de  $O_2$  para su combustión, mientras que las grasas necesitan más del doble (Stegemann 1979). El metabolismo de las proteínas requiere, sin embargo, mucho gasto y está principalmente previsto para otras tareas que no son la obtención de energía. Por ello este método sólo se usa en momentos de necesidad. Hay que pensar que básicamente en el cuerpo no se produce almacenamiento de proteínas. Por ello es necesaria una ingestión diaria de proteínas que pueda cubrir las necesidades de las células (Heipertz 1980); de no ser así "va en busca de la sustancia". El gasto para la movilización y combustión de las grasas es mayor que el gasto para la de los hidratos de carbono, a pesar de que la grasa es la forma básica de almacenamiento de energía del cuerpo. El cuerpo se sirve a sí mismo de la siguiente manera: en casos de mayor necesidad de energía por algún trabajo muscular se tomará la energía de los hidratos de carbono para cubrir esa necesidad. Tras media hora de ejercicio físico continuado se produce un incremento de protección hacia las provisiones de glucógeno que quedan, tras una hora un 90% de la energía necesaria la proporciona la combustión de la grasa.

La *medida del consumo de energía y el cálculo del consumo de energía*, por ejemplo, para las distintas actividades y tipos de ejercicio, se realizan hoy en día midiendo la

cantidad de  $O_2$  inhalado y de  $CO_2$  espirado mientras se realiza un trabajo (la denominada calorimetría indirecta). De esta medida se deduce que el consumo de  $O_2$  por minuto está en

relación fija y directa con el gasto de energía y que el contenido de  $O_2$  de las células sólo se corresponde con el consumo actual. La parte anaerobia del trabajo queda desatendida.



**Figura 1.12:** Desgaste de energía en diferentes ejercicios (de Heipertz):

En reposo (en ayunas) 4 kJ  $\approx$  (aprox.) 1 kcal/min

En reposo (haciendo la digestión) 4,6 kJ  $\approx$  (aprox.) 1,10 kcal/min

Andando (3 km/h) 10,5 kJ  $\approx$  (aprox.) 2,5 kcal/min

Haciendo gimnasia (dependiendo del tempo) 14,7-28,1 kJ  $\approx$  (aprox.) 3,5-6,7 kcal/min

Andando en bicicleta (15 km/h) 22,6 kJ  $\approx$  (aprox.) 5,4 kcal/min

Nadando (1,2-3 km/h) 18,4-44,8 kJ  $\approx$  (aprox.) 4,4-10,7 kcal/min.



La figura 1.12 proporciona un panorama general del consumo de energía de los seres humanos en distintas actividades (que también tienen relevancia para la fisioterapia).

**Consecuencias para la fisioterapia:** Lo más importante a la hora de calcular el consumo de energía en el tratamiento de pacientes es: *in ningún metabolismo sin agua suficiente!* Esto significa:

- El déficit conduce a pérdidas en los procesos de metabolismo (también a procesos de catabolismo de sustancias nocivas) hasta su detención.
- Las personas no entrenadas están básicamente más amenazadas que las entrenadas.
- El déficit se puede producir con sólo sudar; a la vez se produce la pérdida de oligoelementos y minerales importantes.
- Se suele infravalorar las pérdidas a) en niños y b) en ejercicios de larga duración.
- La pérdida se puede medir casi exactamente con la pérdida de peso (¡también antes y después del tratamiento fisioterapéutico!) Gracias a ello es posible realizar una amplia y exacta medición de la reposición de líquidos, necesaria incluso en pacientes bajo tratamiento fisioterapéutico. Debido a la pérdida simultánea de minerales, la mejor forma de reposición son las aguas minerales y los zumos de frutas.

### 1.2.3. Estímulo-reacción - adaptación

En este apartado se fundamentará que estímulo y respuesta (incluyendo los procesos de adaptación que puedan surgir) establecen los principios básicos efectivos del tratamiento fisioterapéutico. Todas las terapias con medios físicos –así como las medidas fisioterapéuticas– significan un planteamiento de estímulos. Su efecto descansa en la correspondiente reacción del cuerpo sometido a tratamiento, que se puede diferenciar por completo de uno sano.

#### Introducción en los conceptos Estímulo

*Definición:* Estímulo es una energía susceptible de transformación, que –hasta donde se ha investigado– por excitación de los receptores adecuados, u otros mecanismos, puede influir en procesos vitales y/o de regulación de un organismo.

Entre estímulo y reacción se pueden establecer relaciones. Las magnitudes de la relación que son válidas para todos los estímulos son:

**Cualidad del estímulo**, es decir, el tipo de estímulo. Los estímulos excitan los receptores o actúan sobre otros mecanismos que sólo responden al determinado tipo de estímulo que pueden asimilar. El tipo de estímulo para un determinado tejido u órgano debe ser “ofertado” en una forma de energía específica. Es decir,



la cualidad del estímulo determina (junto a la dosificación) si se puede o no producir una respuesta al estímulo (reacción). Sólo se responderá a los estímulos adecuados (para más información ver el apartado dedicado a estímulo específico de órganos y tejidos).

*Ejemplo:* Una señal acústica sólo puede ser reconocida por el oído; no es un estímulo adecuado para el ojo. Puede ocurrir que se den simultáneamente estímulos de diferentes tipos y que sean asimilados también simultáneamente, siempre que los receptores adecuados estén disponibles. Un objeto puede ser duro, amarillo y frío a la vez (pero no puede ser amarillo y azul o caliente y frío).

**Intensidad del estímulo**, es decir, la fuerza del estímulo. El estímulo debe ser "percibido". La intensidad del estímulo necesaria para empezar a ser notado se denomina "umbral de intensidad". Si no es superado este umbral, el estímulo permanece sin efecto; en caso de que se supere se produce la respuesta al estímulo. La diferencia notable entre estos dos niveles de intensidad se denomina "umbral diferencial". Con ellos experimentamos los avances o disminuciones de intensidad de manera escalonada (por saltos y no en forma continua).

*Ejemplos:* En hidroterapia es el contraste entre la temperatura de la superficie y la del resto del agua; en la electroterapia, la variación del número de amperios; las pequeñas sensaciones de estímulo provocadas por la fisioterapia en las técnicas del movimiento.

**Duración del estímulo**, es decir, la duración de un estímulo aislado o el período de efectividad del estímulo. El aumento de los intervalos puede activar medidas de protección del propio cuerpo por las que se ocasiona una negación como respuesta al estímulo.

**Concentración del estímulo**, es decir, la cantidad de estímulos en unidad de tiempo o secuencia de estímulo y pausa. Tres magnitudes determinan el transcurrir del juego de intercambio *actio-reactio*, que son periodo de incubación o latencia, valor umbral y fase de recuperación (ver Fisiología). Ocurre una suma-ción por acumulación. Si se interrumpe la fase de recuperación con otro estímulo, la respuesta no será la adecuada.

**Alcance del estímulo**, es decir, la extensión del "lugar de los hechos" al que se dirige el estímulo. En primera línea el resultado de esta magnitud descansa sobre el número de receptores del estímulo o mecanismos similares existentes en el lugar al que va dirigido el estímulo; pero también se incluye la duración total del estímulo que puede estar compuesto de multitud de estímulos individuales.

En los casos de duración, repetición y alcance de los estímulos hay que tener en cuenta los procesos de adaptación y agotamiento. Cuando el cuerpo no reacciona o lo hace de manera equivocada, hay que variar las magnitudes o incluso introducir pausas de recuperación para poner al cuerpo en posición de poder volver a

responder adecuadamente a un proceso normal de estímulo-respuesta.

### Reacción

**Definición:** Reacción es la respuesta de un ser vivo a un estímulo interior o exterior. La reacción del organismo depende de:

- el **tipo** (cualidad del estímulo) y **dosificación** (intensidad, duración, concentración y alcance del estímulo) de la estimulación,
- el **umbral momentáneo del estímulo**, es decir, el punto de partida de la capacidad de respuesta al estímulo de los distintos tejidos y órganos,
- de la **constitución**. Ésta es, según Heipertz, la suma de las cualidades de un ser humano, las heredadas y las desarrolladas dependiendo del medio en el que se mueve. Es el reflejo de las condiciones previas personales y, por tanto, de la dis-

posición (estado de especial inclinación o propensión) y resistencia (capacidad de resistencia).

Junto a los tipos de constitución tenemos los tipos de reacción. Éstos determinan de manera sustancial la respuesta al estímulo. La medicina deportiva (Nöcker 1980 et al.) ha determinado que la reacción puede ser mejorada, sólo en parte, gracias al entrenamiento y el ejercicio. Se acepta una determinada mejora de los tiempos de reacción. Para la fisioterapia es un factor muy a tener en cuenta el tipo de reacción por tipo de constitución que determina entre otras cosas la aptitud individual para un determinado tipo de deportes. Esto es especialmente conocido en la hidroterapia.

Hoy en día sabemos que cada medida de reacción hacia un estímulo debe tener en cuenta las ordenaciones

**Tabla 1.1:** Efecto estímulo-reacción en un ejemplo mensurable (de Hildebrant).

ESTÍMULO DE TENSIÓN (% DE LA FUERZA MÁXIMA)		AUMENTO SEMANAL DE LA FUERZA (% DE LA FUERZA INICIAL)
40-50	Entrenamiento óptimo	+4
30-40	Umbral de entrenamiento	+>0
20-30	Carga diaria	±0
20	Umbral de atrofia	->0
0	Inactividad (Entumecimiento, inmovilización)	-15

temporales y ligadas a la naturaleza del cuerpo humano. Es decir, existen procesos vegetativos y rítmicos en el organismo, con intercambio entre situaciones de reacciones simpáticas y parasimpáticas (Weimann 1978), que tienen gran significado para los procesos de autocuración (a los cuales apela la fisioterapia como parte fundamental de la terapia física).

### **Adaptación (acomodación)**

*Definición:* Adaptación es la capacidad para acostumbrarse a un estímulo.

Podemos diferenciar:

- Adaptación a estímulos de intensidad constante y mantenida, lo que conduce a una reducción de la respuesta. Ejemplo: los receptores se adaptan a un estímulo y dejan de enviar impulsos o información. Se produce acomodamiento. Se ha completado el proceso de adaptación.
- Adaptación a estímulos de intensidad creciente, lo que conduce a un aumento de la respuesta. Motivo: el cuerpo posee capacidad para responder a una exigencia con incremento de la capacidad de rendimiento. "El funcionamiento más fuerte modifica la complexión cualitativa del órgano, elevándose su capacidad de rendimiento" (Roux 1895).
- Incapacidad de adaptación; produce daños en nuestro cuerpo y aparece:
  - a) Cuando los estímulos son demasiado fuertes. Cuando el organismo (por ejemplo, debido a una exagerada sensibilidad de las

partes del cuerpo o de la totalidad) es incapaz de acostumbrarse e incluso de responder siquiera al estímulo establecido.

- b) En caso de falta de estímulos, que son fundamentales para conseguir la función o la forma. Se llega a la atrofia.

**Consecuencias para la fisioterapia.** Debido a las mencionadas capacidades de adaptación hay que observar *tres niveles de intensidad de la estimulación:*

- **Estímulo de mantenimiento.** Es obligatorio para el mantenimiento de un estado de rendimiento adquirido. Es irrenunciable incluso para la vida diaria, y sobre todo es importante en los pacientes en tratamiento para evitar la pérdida de rendimiento y volumen. Según el principio de adaptación, la intensidad del estímulo, que actúa como estímulo de mantenimiento, es muy diferente a) de persona a persona, b) dependiendo del estado de funcionamiento, es decir, una persona más entrenada, en comparación con otra, necesita un estímulo de mantenimiento mayor.
- **Estímulo de entrenamiento** (válido también para el desarrollo motor): Domina en el deporte. Es utilizable por la fisioterapia siempre que el principio de dosificación tenga totalmente en cuenta las diferencias individuales del rendimiento reducido del paciente. Es mayor que el estímulo de mantenimiento ya que supera el umbral de entrenamiento para determinados órganos.

En deporte se describe el entrenamiento como el proceso biológico de adaptación y se definen los procesos resultantes del mismo como **supercompensación** o sobrecompensación (Figura 1.13).

La figura refleja que el cuerpo reacciona al estímulo de entrenamiento con un consumo mayor de energía y sustancias en primer lugar y después con cansancio, I.

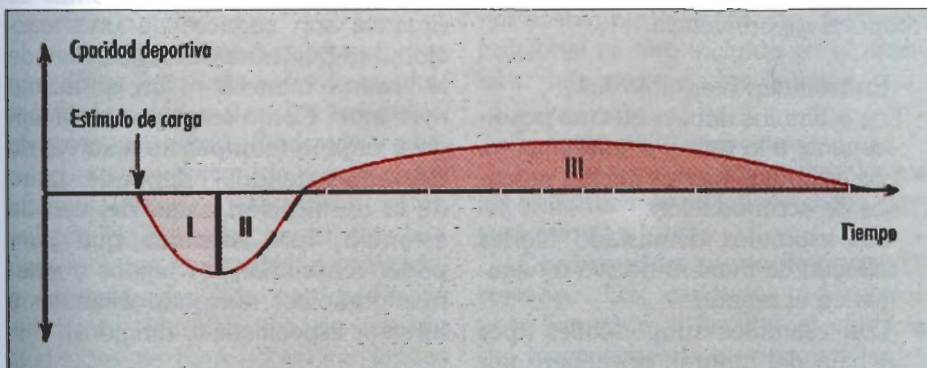
A esos procesos de catabolización sigue una fase de recuperación con un proceso anabólico de síntesis, es decir, se rellenan los sustratos utilizados, II.

Con ello se cierra el proceso de la supercompensación y se produce una mejora de la función del movimiento que está por encima del nivel inicial del entrenamiento, III.

La consecuencia es que las intensidades de entrenamiento, que en el entrenamiento deportivo se suceden rápidamente, no dejan tiempo al proceso de síntesis, es, decir a la supercompensación.

Puede incluso determinar una reducción del rendimiento conseguido. Se desprende pues que es importante la repetición de los entrenamientos con regularidad para los tratamientos fisioterapéuticos de la fuerza muscular o principalmente los de resistencia. Hay que planear exactamente las pausas que hay que realizar entre las unidades de entrenamiento. En determinadas circunstancias puede ser provechoso no realizar los entrenamientos diariamente sino plantear las intensidades del ejercicio terapéuticamente necesarias durante dos a tres veces por semana.

- **Estímulo excesivo.** No tiene sentido ni para la fisioterapia ni para el deporte. No tiene ninguna reacción de un órgano específico, sino que libera diferentes reacciones inespecíficas generales y locales. Las reacciones locales afectan a músculos, tendones y ligamentos de las articulaciones, y huesos (rotura por



**Figura 1.13:** Representación esquemática de la supercompensación. I trabajo del entrenamiento - pérdida de energía y de sustancias (proceso de catabolismo) - cansancio. II Pausa - síntesis - recuperación. III Síntesis de energía y sustancias por encima del nivel inicial antes del inicio del ejercicio - supercompensación (de Völker y cols.).



cansancio o por marcha intensa). Las reacciones generales se muestran en los sistemas cardiocirculatorio y endocrino. La mayoría de las reacciones locales al exceso de estímulo tienen como resultado dolores debido a interferencias continuadas en el metabolismo local; las reacciones generales al exceso de estímulo afectan a una activación de la producción de cortisol y precipitación de catecolaminas. Uno de los conceptos habituales para tales reacciones al sobreestímulo es el *distrés*. Hollmann (1972) lo entiende como un estrés psicológico y/o físico que no es asimilable.

El estrés es una institución de importancia vital que, además, es conservadora de la vida (*eustres*). Según Hollmann (1972), es la suma de los estímulos que superan el umbral de recepción y que nos afectan consciente o inconscientemente. Sin estímulos por encima del umbral no habría adaptación y, por tanto, tampoco supervivencia.

En resumen (ver tabla 1.1):

- Los estímulos débiles afectan positivamente a la vida y el rendimiento.
- Los estímulos fuertes inician procesos de acomodación.
- Los estímulos demasiado fuertes influyen de manera nociva o negativa en el órgano.
- Los estímulos muy débiles (por debajo del umbral) no tienen ningún efecto alguno.

Estos procesos se han denominado "regla de Arndt-Schulz". Según

Baum (1963), esta regla descansa sobre una confusión histórica; pero las reglas han influido de una manera muy amplia en los principios del entrenamiento deportivo o médico. Son también válidas para la fisioterapia, aunque ello depende de los niveles de reducción de las funciones. En el entrenamiento deportivo y el fisioterapéutico (con los pacientes) es válido, por ejemplo, en el estímulo del ejercicio, en el que lo que inicialmente supone un estímulo funcional muy fuerte, tras los procesos de adaptación se reduce a un estímulo muy débil. La dosis ha de ser elevada. Lo contrario sucede con un estímulo de mantenimiento (de una persona sana) que puede resultar para un enfermo todo un estímulo de entrenamiento, y que, de ser aumentado sin cuidado, puede conducir a una sobre-tensión exagerada.

### **Estímulos y reacciones específicos**

Todos los órganos o sistemas de órganos son capaces de una reacción, aunque no todos reaccionen de la misma manera ni en el mismo momento. Cómo reaccione cada tejido u órgano (compuesto a su vez de diferentes tejidos) depende tanto de la dosificación como del tipo de estímulo. Esto significa que para poder reaccionar, los tejidos y sistemas orgánicos necesitan estímulos y trabajos específicos (y dirigidos).

### **Tejido de sostén**

Tejido óseo

Como parte pasiva del aparato motor, los huesos reciben carga debi-



do a la fuerza muscular y a la fuerza de la gravedad. Componentes individuales de esa carga y trabajo son las propias partes del cuerpo, tales como las fuerzas de músculos y tendones. Reaccionan a ello con la producción de sus componentes y el direccionamiento de la trayectoria de la materia esponjosa. El reposo continuado conduce a pérdida de sustancia ósea (reducción del contenido en fosfato de calcio = osteoporosis); es decir, los huesos se dañan por la falta de ejercicio. Se puede decir, pues, que el trabajo que suponen la fuerza muscular y la fuerza gravitatoria son un estímulo de mantenimiento para la sustancia ósea. Por medio del uso de la fuerza muscular, por ejemplo, para moverse en la cama en situaciones de reposo continuado, se puede evitar ese peligro. Según Harff (1963), el estímulo específico para los huesos es "una presión alterna en el sentido del eje longitudinal del hueso".

#### Tejido conjuntivo

El tejido conjuntivo, compuesto por fibras atrofiadas, fundamentalmente de colágeno, en los músculos, cápsulas articulares, tendones y piel, así como en partes de los órganos internos (paredes intestinales, tejido pulmonar), necesita, como estímulo para mejorar la elasticidad reducida, la extensión repetida por medio de ejercicios. "Un ejercicio de tensión cuidadosa se hará sobre los tejidos con alteraciones, por ejemplo, sobre las cicatrices, en el sentido del ajuste de las fibras hacia la dirección de mayor tensión" (Harff 1963).

#### Tejido cartilaginoso

Se define como estímulo mecánico de crecimiento y mantenimiento a la carga de presión con deformación intermitente, también conocida como "bataneamiento" (*Durchwaldung*) (Kummer 1980). En el caso de deformación morfológica de los cartílagos sin capacidad de regeneración (por ejemplo, debido a una artrosis), el "bataneamiento" sirve para que el movimiento de las articulaciones pueda ser realizado por carga gravitatoria y de la fuerza muscular. Se puede conseguir por medio de "ejercicios ayudados" y/o movimientos de péndulo de las extremidades. Harff (1963) describe "una presión corta y cambiante sobre la articulación con un ligero movimiento giratorio con supresión de la actuación de los músculos que rigen ese movimiento, es decir, en forma de "movimiento pasivo".

#### Sistemas orgánicos

Dado que los tejidos musculares y nerviosos representan un conjunto funcional se han incluido en el apartado del sistema de los órganos.

##### Sistema neuromuscular

En los procesos de movimientos los músculos esqueléticos y los nervios trabajan juntos.

**Contracción muscular-coordinación:** Los estímulos adecuados para fomentar y facilitar el ejercicio del mecanismo de autocontrol (sistema motor reflejo) son:

- Estímulos sensoriales: extensión hacia delante de los músculos, pre-

sión y estiramiento en las articulaciones (deformación mecánica como estímulo de los órganos sensoriales propioceptivos), estímulos táctiles, visuales y acústicos (tocar y ver el movimiento, órdenes).

- Reflejos para el mantenimiento de la postura: adoptar diferentes posiciones corporales teniendo en cuenta la postura y los movimientos de la cabeza y las extremidades, unido a presión y estiramiento manual para provocar el desequilibrio (para el desempeño de las reacciones de apoyo y equilibrio).

### **Optimización de la coordinación muscular-automatización:**

El estímulo adecuado para la mejora de la coordinación de los procesos del movimiento y la automatización del desarrollo de los reflejos necesarios es la repetición continua, bien consciente bien inconsciente, de un tipo de movimiento. Se evita la innervación innecesaria del músculo (movimientos adicionales que interfieren), se normaliza la fuerza y distribución del músculo, es decir, se tienen en cuenta la tensión y distensión obligatorias de agonista y de antagonista, se reduce el consumo de  $O_2$  por los músculos hasta la cantidad necesaria, y se proporciona el transporte completo del producto final del metabolismo.

**Fuerza muscular:** El estímulo específico para aumentar la fuerza muscular es la tensión muscular, que ha de superar el umbral de entrenamiento. Según Hettinger (1980, 1983), este umbral está por encima

del denominado margen de la indiferencia, que es una fuerza de adaptación que está dentro del margen de trabajo diario y que supone entre el 20 y el 30% de la fuerza máxima posible que tiene un músculo (100% = la fuerza máxima que puede producir un músculo en una determinada posición). En tensiones de fuerza por encima de ese 30% hablamos de efecto de entrenamiento. El músculo reacciona a un estímulo de tensión primero con el uso de un gran número de unidades motrices; después, en relación con una mejora del estado de entrenamiento para una determinada intensidad de trabajo, con la movilización de un número inferior de unidades motrices y finalmente con hipertrofia. La hipertrofia se manifiesta como un crecimiento del diámetro de las fibras musculares individuales; entre otras manifestaciones se observa el aumento de las miofibrillas. Con ambas formas de trabajo, contracción estática-isométrica y contracción dinámica, se pueden asentar los estímulos del entrenamiento de fuerza.

**Resistencia muscular:** El estímulo adecuado para la *resistencia muscular local y aerbia* es la realización, siempre que sea posible, de una gran cantidad de repeticiones de un ejercicio con contracciones dinámicas de los grupos de músculos pequeños y medianos (brazos, piernas, es decir, menos del 1/6 a 1/7 de los músculos esqueléticos). La frecuencia del ejercicio y la tensión de los músculos deben ser submaximas, no deben superar, por poco, el límite de trabajo individual. Sólo entonces se pueden des-

arrollar los cambios rítmicos que ocurren en las contracciones musculares dinámicas en el caso de facilitación y energía aeróbica como mínimo de 3 a 5 minutos (sin cansarse). Los músculos reaccionan con procesos de adaptación hemodinámica y metabólica (capilarización, mejor distribución intramuscular de la sangre, incremento de las mitocondrias, aumento de las enzimas de efecto aeróbico en las células, entre otros). Esta reacción permite, por término medio, una mejor utilización del oxígeno y las sustancias alimenticias en el músculo. De esta manera se puede reducir la afluencia de sangre en determinados ejercicios.

Una frecuencia de ejercicio elevada y una gran tensión muscular, es decir, más partes de contracción muscular estática en las contracciones dinámicas, conducen a una facilitación de energía principalmente anaeróbica. El músculo se cansa antes, y la resistencia para los efectos del entrenamiento se queda corta.

El estímulo adecuado para la mejora de la *resistencia muscular local anaeróbica* es un ejercicio de la musculatura con una gran resistencia de manera que crece la fuerza estática y dinámica. En los casos de gran tensión muscular se comprimen los capilares del músculo y éste mantiene la propiedad de proporcionar energía, sin añadir oxígeno, durante un período de tiempo mayor que en el caso de las personas desentrenadas. La adaptación necesaria tanto física como química para conseguir este efecto es aún hoy desconocida.

Sistema cardiocirculatorio

### **Regulación de la circulación:**

El estímulo adecuado para mejorar la *regulación ortostática inmediata* en el caso de tendencia al colapso (regulación ortostática temprana) es la repetición a lo largo del mayor número de minutos de un ejercicio con las dos piernas con la mayor tensión posible, es decir, la parte estática de la tensión muscular. La reacción en el caso de la contracción muscular estática (isométrica) es el aumento de la presión sistólica y en menor medida también de la diastólica. La razón principal es una compresión de los capilares cuando la contracción isométrica está por encima del 15% de la fuerza máxima que es capaz de desarrollar un músculo. Con ello aumenta la resistencia vascular periférica y el resultado es un aumento de la presión sanguínea.

El estímulo adecuado para la mejora de la regulación circulatoria bajo trabajo es el entrenamiento con resistencia aeróbica en general (ver rendimiento circulatorio).

### **Riego sanguíneo vascular:**

*Capilares:* En fisioterapia, el estímulo adecuado para la capilarización, es decir, superficie capilar aumentada a largo plazo, es la realización de un número de repeticiones de ejercicios con contracciones musculares dinámicas (ver resistencia muscular aeróbica local). El estímulo adecuado para la ampliación de los capilares a corto plazo (*hiperemia*) se consigue por medio de contracciones musculares dinámicas y estáticas:

- Series de ejercicios con contraccio-

nes musculares dinámicas. Tempo (velocidad) y cantidad de tensión muscular deben permitir una resistencia de 1 a 3 minutos, para que la acidificación inicial del músculo conduzca a la ampliación de los capilares (hiperemia de trabajo).

- Contracciones estáticas del músculo a un 60-100% de la fuerza máxima posible durante unos 10-15 segundos, para que ocurra una reducción del riego sanguíneo por la compresión de los capilares. Tras la reducción de la tensión muscular aparece una mayor dilatación de los capilares (hiperemia reactiva).

**Arterias:** El estímulo adecuado para la aceleración del torrente sanguíneo y aumento del volumen sanguíneo en las arterias por apertura de las arteriolas es la realización de series de ejercicios con contracciones musculares dinámicas (ver resistencia muscular aerobia local y resistencia general).

**Venas y vasos linfáticos:** El estímulo adecuado para la aceleración de la corriente en las venas y vasos linfáticos es la repetición de un número de series de ejercicios con contracciones musculares dinámicas, bombeos musculares y articulares (Ehrenberg y Von Ungern-Sternberg 1987). La fuerza del ejercicio, es decir, la intensidad de la tensión muscular, debe permanecer dentro de los límites individuales de resistencia para facilitar un buen número de repeticiones.

**Rendimiento circulatorio:** El estímulo específico para mejorar el

rendimiento circulatorio consiste en el entrenamiento de la resistencia general (aerobia). Para ello es necesario realizar ejercicios musculares más de 1/6-1/7 de todos los músculos esqueléticos, como poco durante 10 minutos y utilizando al menos el 50% de la capacidad máxima del sistema cardiocirculatorio. Como parámetro para la medida de la magnitud del rendimiento del sistema circulatorio se puede usar la frecuencia cardíaca, dado que este valor aumenta de manera lineal con el ejercicio. El *umbral crítico de estímulo para la frecuencia cardíaca* para la aparición del aviso de adaptación se calcula para los adultos desentrenados y sanos con la siguiente fórmula: 180 menos la edad en años, es decir, para un hombre de 50 años la frecuencia cardíaca de entrenamiento debe ser de 130 lat/min. Esto en caso de un entrenamiento en el margen inferior (entrenamiento suave), que también es válido para un entrenamiento de rehabilitación. El deportista de elite (profesional) ejercita la resistencia general aerobia en el margen superior de la capacidad del organismo y dependiendo de su edad alcanza frecuencias cardíaca de 190-200 lat/min.

La adaptación consiste en:

1. una economía del trabajo del corazón según los siguientes factores (Hollmann 1972):
  - disminución de la frecuencia cardíaca en reposo y en ejercicios de los márgenes inferiores de carga,
  - en muchos casos reducción vigilada de la presión sanguínea sistólica,
  - reducción de la contractilidad,



- alargamiento de la resistencia sistólica y diastólica,
  - reducción de la secreción de catecolaminas en determinados niveles de entrenamiento;
2. una mejora del riego sanguíneo periférico, o las apariciones de adaptación de las partes más periféricas del cuerpo, que se mencionan en la resistencia muscular aerobia local.

### Reacciones erróneas o excesivas de tejidos y sistemas orgánicos

- Piel: encogimiento de cicatrices (una cicatriz normal, por ejemplo, la ocasionada por un corte, no se encoge), queloide = tumor cutáneo intradérmico.
- Tejido conjuntivo: aglutinación y cicatrización.
- Piel interior de las articulaciones: exceso de estímulos.
- Músculos: hipertonia e hipotonía, miogelosis.
- Huesos: callos blandos (pseudoartritis), abundancia callosa.
- Regulación del sistema circulatorio: trastornos por hipertonia o hipotonía.

### Consecuencias para la fisioterapia

1. El fisioterapeuta debe ofrecer a los tejidos y sistemas de órganos especiales el estímulo necesario en forma de energía específica.
2. El manejo de estímulos es un pro-

blema de dosificación y de variaciones, es decir, a) aplicar el estímulo al nivel más bajo, b) en el caso de una reacción inadecuada a un estímulo, el fisioterapeuta debe probar si otra forma de estímulo conduce a la respuesta adecuada.

3. El fisioterapeuta debe ser capaz de reconocer una reacción no deseada.

## 1.3. RENDIMIENTO E INCREMENTO DEL RENDIMIENTO<sup>1</sup>

### 1.3.1. Introducción

El tratamiento de fisioterapia tiene como misión, además de la mejora de los trastornos funcionales del organismo, la elevación de la resistencia de los enfermos, la prevención de una disminución del rendimiento y el mantenimiento de las capacidades, incluso si están limitadas por trastornos irreversibles de los órganos. En muchos casos, a través de los tratamientos fisioterapéuticos se deben conseguir las condiciones previas para la puesta en acción de un rendimiento corporal, es decir, las condiciones previas del movimiento. La fisioterapia se debe plantear las siguientes preguntas y buscar una respuesta:

- 1 ¿Qué factores determinan las capacidades corporales?

<sup>1</sup> Con la colaboración del Prof. Dr. en medicina R. Rost y del Dr. rer. nat. Sigrid Dordel, ambos de Deutsche Sporthochschule Köln.

2. ¿Qué suposiciones puede asumir el fisioterapeuta, desde los conocimientos científicos de los progresos de la medicina, sobre el efecto del ejercicio en las diversas funciones corporales?

3. ¿Qué usos puede extraer la fisioterapia –junto con las técnicas de tratamiento fisioterapéutico convencional que no son válidas para las sanas– de los métodos de incremento de la resistencia en los organismos sanos?

Con las técnicas de tratamiento fisioterapéutico convencional nos referimos, por ejemplo, a todas las técnicas que con el término “fisioterapia” designan “motivos neurofisiológicos”. Son técnicas para el fortalecimiento de estímulos propioceptivos y exteroceptivos para la innervación muscular a través del conocimiento de la importancia de la extensión muscular, por medio del rozamiento de la piel y el frotamiento y la presión de la piel y los músculos gracias a la presión forzada de manos y pies, a través de la práctica de modelos de movimiento que corresponden al desarrollo motor infantil y que producen, mediando la emisión de estímulos, el desencadenamiento de movimientos reflejos (véase técnicas de tratamiento especiales). De la “medicina manual” se deducen importantes principios de fisioterapia válidos, por ejemplo, para el tratamiento de la movilidad limitada de las articulaciones.

Con el concepto de *rendimiento* se entiende, de un modo general, tanto el proceso como el resultado de acciones, actuaciones y procesos (Röthig 1983).

Los rendimientos corporales del ser humano son, en este sentido, acciones que éste cumple en competencia con su entorno, en el que se coloca, con sus exigencias, en un estado de equilibrio. Los rendimientos se determinan por las capacidades que afectan igualmente al cuerpo y a la psique, como si fueran un todo unificado.

### 1.3.2. Diferenciación de las capacidades corporales

La capacidad corporal es muy compleja y depende de multitud de factores. Desde un punto de vista fisiológico se divide en *disponibilidad al rendimiento* y *reserva de rendimiento*, puesto que el ser humano posee una capacidad de rendimiento que emplea en diversas proporciones.

Por ello la disponibilidad al rendimiento depende de diversas condiciones. Por un lado las condiciones *externas*, es decir, las del entorno en el que el ser humano trabaja en sus ocupaciones, tanto de un modo corporal, o bien en su tiempo libre o cuando, en el colegio, practica un deporte. Por otro lado están las condiciones *internas*, las de la voluntad de llevar a cabo ese rendimiento, es decir, de la voluntad de rendir, y de su potencia corporal, la llamada *disponibilidad de rendimiento* (Müller-Limmroth 1968). Si se tienen en cuenta las capacidades corpóreas en general, se llega a una clasificación según los escalones de rendimiento que se describen a continuación.

A través del *escalón de rendimiento de las personas sanas* se orienta,

como apoyo a Graf (1954), un esquema (Figura 1.14) sobre la relación existente entre el rendimiento y la capacidad de rendimiento, así como la periodicidad diaria de esta capacidad (Stegemann 1977).

En este esquema la capacidad de rendimiento se coloca en un 100%. Es evidente que en los rendimientos automatizados no se emplea ni siquiera la mitad de las reservas de rendimiento disponibles.

Estos rendimientos (por ejemplo caminar en llano, los quehaceres diarios del cuidado del cuerpo y de la comida) se realizan sin un esfuerzo de voluntad consciente y con una fatiga mínima. Este escalón también se denomina trabajo ligero (Hettinger 1980). En el campo de la disponibilidad al rendimiento fisiológico están los esfuerzos laborales, sin grandes esfuerzos de voluntad, que llevan a la fatiga (trabajo medio según Hettinger)

y que se vuelven a recuperar a través del sueño nocturno. Los rendimientos hasta un 80% de la capacidad, por ejemplo en esfuerzos deportivos de alto rendimiento (Stegemann 1977) o trabajos pesados (Hettinger 1980), se movilizan a través de esfuerzos de voluntad aumentados. Llevan consigo una fatiga más fuerte. El escalón de la disponibilidad al rendimiento fisiológico y las reservas de rendimiento dependen, tal y como muestra la curva de dos máximos de la figura 1.14, de la periodicidad diaria. La capacidad de rendimiento mayor está, en la mayoría de los seres humanos, entre las 9 y las 19 horas, y la más baja entre las 14 y las 3 horas. El último escalón muestra las reservas de rendimiento, que normalmente no están sometidas a la voluntad, es decir, las que están protegidas por el sistema nervioso autónomo. Estas reservas se pueden poner en servicio

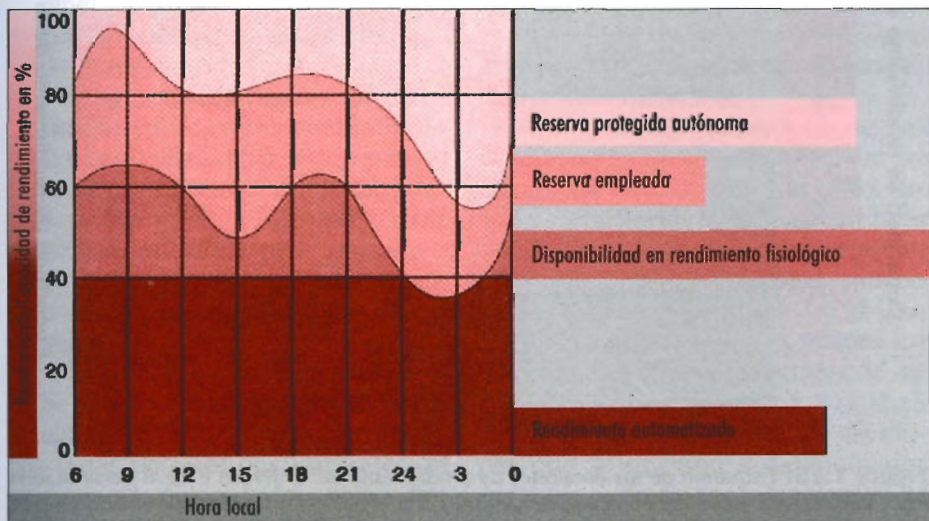


Figura 1.14: Periodicidad diaria de la disponibilidad de rendimiento (de Graf).

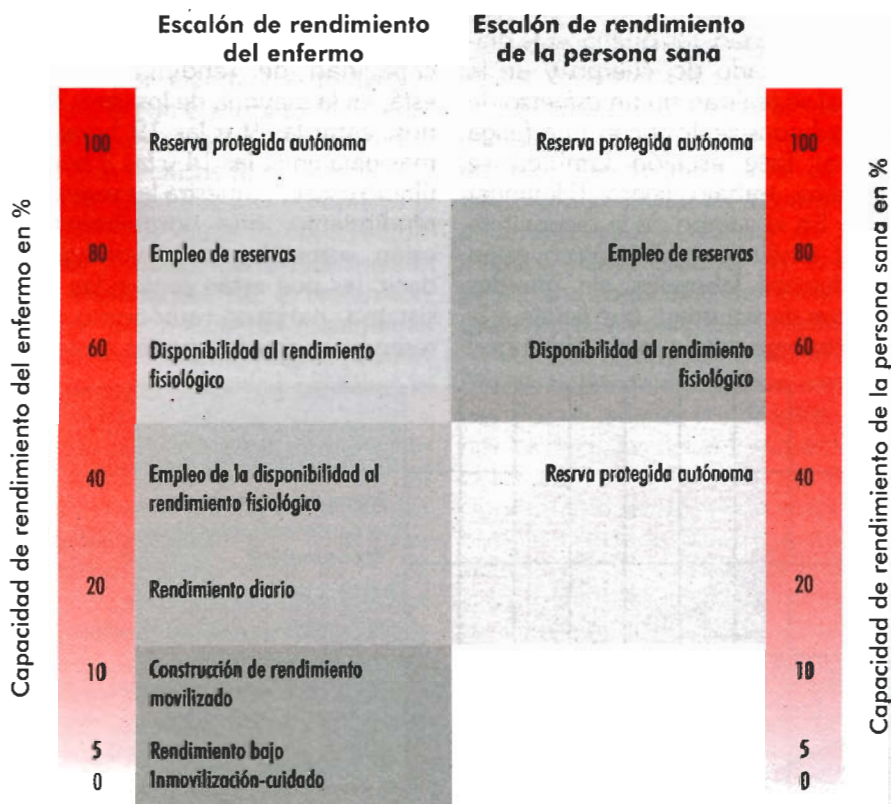


libremente en situaciones extremas (peligro de vida, emociones) a través de reacciones hormonales (aumento de adrenalina) y provocan un cansancio total.

Los escalones de la resistencia, así como el del esfuerzo del enfermo, se dividen desde un punto de vista fisioterapéutico en (Figura 1.15):

- Ambito de las resistencias muy bajas durante el reposo en cama o

durante la posición de reposo de una extremidad vendada = *inmovilización*. Se guiará, a los enfermos que sean capaces de ello, a moverse, por ejemplo a ejercitar las extremidades que todavía se pueden mover o a llevar a cabo aspiraciones profundas varias veces al día. Estos ejercicios sirven para prevenir la aparición de consecuencias no deseadas, causadas



**Figura 1.15:** Esquema de los escalones de rendimiento del enfermo y de la persona sana (de Graf). Los ámbitos del enfermo indican un porcentaje como ámbito aproximado. No se basa en estudios científicos. Muestran el hecho de que la salud y las capacidades de rendimiento no son siempre iguales.



por la falta de movimiento (atrofia muscular, contractura de las articulaciones, disregulación de la circulación, trombosis, neumonías).

- Escalón de la *generación de rendimientos* tras las posiciones de reposo así como la oferta de cuidados = *movilización*. El paciente, según su enfermedad, ejercita, en el marco del tratamiento fisioterapéutico, determinadas formas de movimiento o entrena sus capacidades corporales, por ejemplo la fuerza o la resistencia. Esto sirve para la creación de hipótesis sobre su capacidad de rendimiento diario. En especial en este campo, los fisioterapeutas deben elaborar condiciones previas adecuadas externas e internas, por ejemplo a través de la creación de un entorno amable, a través del apoyo moral y la motivación del paciente para el empleo de su voluntad de rendimiento.
- Escalón de los *esfuerzos diarios y de la resistencia diaria*. Si es posible, se produce una elevación sistemática de los rendimientos hasta la disponibilidad fisiológica para el trabajo profesional y las habilidades deportivas. En este tercer escalón el enfermo se encuentra en unas condiciones de rendimiento más bajas que las de las personas sanas.

Si se sigue la división vertical del escalón de rendimiento de las personas sanas de Graf, los escalones de rendimiento del enfermo están por debajo y al lado de los del sano (Figura 1.15). Algunos enfermos sólo

alcanzan el escalón de los rendimientos automatizados y se quedan en este nivel. Para otros, este escalón significa una preparación para los rendimientos de trabajo, alcanzando el escalón de rendimiento del sano. Pero también hay enfermos con dolencias crónicas o impedidos por afecciones irreversibles que, a pesar de su salud limitada, llegan a tener unas capacidades muy elevadas. Pueden movilizar, como los sanos, sus reservas de rendimiento. ¡Salud no es sinónimo de capacidad de rendimiento! El esquema de la figura 1.15 muestra que algunos enfermos crónicos e impedidos alcanzan el escalón de la disponibilidad al rendimiento fisiológico y de las reservas de rendimiento, es decir, en la vida profesional o en el deporte. Pero también queda claro que en el escalón de esfuerzo más bajo los fisioterapeutas comienzan a hacer algo, mientras que, en el escalón más elevado, la actividad reside en el profesor de deporte (también el instructor de ejercicios en la asociación).

La clasificación descrita de las capacidades de rendimiento en el escalón de rendimiento corporal y escalón de esfuerzo se orienta a través del entorno y resulta de una correlación psicofísica. Pero dice mucho menos de los órganos y de las funciones de los órganos que producen los rendimientos. Para la elección de las técnicas de tratamiento fisioterapéuticas son más importantes las divisiones que se orientan a determinados órganos y funciones orgánicas. Las siguientes tentativas de clasificación por parte de eminentes médicos y

pedagogos del deporte tienen también un significado para la fisioterapia y se describirán resumidamente.

Desde el punto de vista de la medicina laboral, para el trabajo profesional los factores más importantes de capacidad de rendimiento corporal son (Valentin y cols. 1985):

- Fuerza muscular, dividida en fuerza estática y dinámica.
- Capacidad de rendimiento motor, que engloba las características motrices en relación con la coordinación, movilidad y velocidad, y se refiere a la habilidad manual, a la velocidad del movimiento y al dominio del cuerpo.
- Las capacidades de rendimiento cardiovascular y cardiopulmonar, que facilitan el rendimiento de resistencia.

Desde el punto de vista de la medicina del deporte se diferencian las siguientes características motrices, que son la base del rendimiento deportivo:

- Características básicas como la flexibilidad, la fuerza, la rapidez y la resistencia, que se refieren a "la capacidad de movimiento" y que se caracterizan como *motor fitness* (buen estado motor general del cuerpo) o también como "condición".
- Características como destreza, habilidad, flexibilidad, es decir, características que se producen a través de la optimización de la coordinación del movimiento (por ejemplo desde un modo burdo en sus principios hasta irlo afinando y, eventualmente, a la formación de los llamados estereotipos de

movimiento; véase elevación del rendimiento a través de la práctica) y que son necesarias para la mejora de las técnicas deportivas (Röthig 1983).

Esta clasificación de las capacidades de rendimiento corporal tienen en común que la fuerza, la rapidez, la flexibilidad y la resistencia se consideran condiciones corporales fundamentales para el movimiento, y que la destreza, la habilidad y el dominio del cuerpo están sujetos a una coordinación óptima. Después de esta clasificación, hoy en día en diversos ámbitos de la medicina y del deporte, se ha medido la capacidad corporal, entre otras cosas para la creación de programas de entrenamiento para deportistas, para la supervisión de procesos de fisioterapia y para el enjuiciamiento de las capacidades productivas para el trabajo.

### 1.3.3. Aumento del rendimiento

Nos limitamos a la descripción de métodos para el aumento de capacidades corporales que contribuyan a la mejora de la *coordinación, la fuerza y la resistencia*. En los enfermos no se usan los entrenamientos de rapidez y fortaleza. Para la mejora de la flexibilidad y para la eliminación de una movilidad limitada de las articulaciones, los fisioterapeutas disponen de gran cantidad de posibilidades. Las condiciones aquí descritas para el aumento del rendimiento corporal son válidas en relación con la mejora

del rendimiento circulatorio, es decir, de la resistencia aeróbica general, particularmente en los adultos sanos, y se deben modificar en los niños teniendo en cuenta la edad. Para el entendimiento de los métodos para el aumento de la resistencia se deben presentar algunos términos de la medicina laboral y del deporte, así como de la práctica del deporte y del entrenamiento, que se explicarán aquí brevemente. Además es necesario el conocimiento de los dos tipos de músculo que ofrecen diferencia en el metabolismo y en la inervación nerviosa:

- La **fibra de “contracción rápida”, blanca** (*fast twitch* = fibra FT), también denominada fibra muscular fásica (Rumberger 1982), que es rica en fosfatos abundantes en energía, glucógeno y enzimas procedentes de la producción de energía anaeróbica. Es proveedora, a través de las neuritas conductoras rápidas, de las grandes motoneuronas. Este tipo de fibra es responsable del esfuerzo muscular intensivo y de fuerza elástica en el sentido de *motricidad de objetivo y de movimiento*.
- La **fibra de “contracción lenta”, roja** (*slow twitch* = fibra ST), también denominada fibra muscular tónica, es rica en glucógeno pero sobre todo en enzimas del metabolismo aeróbico. Se inerva a través de las lentas neuritas conductoras de las pequeñas motoneuronas de la médula espinal. Este tipo de fibra es responsable del trabajo muscular de peque-

ña intensidad y de la *motricidad de parada y apoyo* en acción.

“Entre los músculos fásicos y tónicos hay una transición no muy nítida. En el movimiento espontáneo participa la conciencia en el inicio y control del desarrollo motor. Todos los demás movimientos no son espontáneos. Tampoco aquí es posible una división precisa. Por regla general, un músculo estriado se excita de forma espontánea. Pero, por el contrario, organiza unos desarrollos de contracción espontáneos en procesos de regulación no espontáneos y queda controlado por ellos y por influencias reflejas” (Rumberger 1982)

### **Límites del rendimiento de resistencia, *steady state*, umbral aeróbico-anaeróbico**

El ser humano, en su conflicto con las exigencias del entorno, no está preparado para rendir altas prestaciones, sino para disponer de un rendimiento de duración. Para juzgar la capacidad de rendimiento de duración se comprueba los denominados *límites de rendimiento de duración* así como los límites de duración. Por encima de estos límites se produce, en los rendimientos de duración, una fatiga, y el rendimiento se interrumpe. Por debajo de estos límites se encuentran las funciones necesarias para el trabajo muscular en un equilibrio “fluido”, el *steady state*, puesto que el organismo siempre se empeña en mantener la “homeostasia”. Con ello se designa el equilibrio de las materias constructivas y energéticas, así como las funciones corporales fisiológicas,



como la estabilidad de la presión sanguínea, la temperatura del cuerpo, el valor del pH. Sin la homeostasia el hombre no está capacitado para vivir. Tras el comienzo del ejercicio transcurren (según la intensidad del esfuerzo) aproximadamente entre 2 y 5 minutos hasta que, en la elevación del esfuerzo invariable (continuada), el *steady state* alcanza a diversas magnitudes fisiológicas, es decir, el consumo de oxígeno, el volumen minuto respiratorio, el volumen minuto cardíaco, la presión sanguínea, la frecuencia cardíaca y el incremento del ácido láctico en la sangre. El oxígeno que se transporta en la sangre y el combustible corresponden a necesidades vitales y el producto final del metabolismo será transportado íntegramente. *Un criterio para la determinación de los límites del rendimiento de resistencia es la frecuencia cardíaca.* Aumenta con el esfuerzo y en los adultos se encuentra (según la edad y el estado de entrenamiento) entre 100 y 120 lat./min. Desde el punto de vista de la medicina laboral, los límites del rendimiento de resistencia (así como los límites de la resistencia) para el trabajo corporal se producen al cabo de 8 horas.

Para la *resistencia muscular* los límites del rendimiento de resistencia están en el escalón del *umbral aeróbico-anaeróbico*. Puesto que los músculos trabajan con una tensión fuerte, es decir, con una gran participación estática o a una velocidad elevada, se desarrollan en el escalón anaeróbico de la preparación de energía. Ya no es suficiente la preparación de energía por combustión (preparación de ener-

gía aeróbica). Una participación creciente de la energía es proporcionada de manera anaeróbica a través de la creación de ácido láctico. La acidosis resultante, que se hace patente a través de los desagradables "tirones" musculares, obliga a la interrupción del esfuerzo muscular.

Para el rendimiento de duración en los esfuerzos diarios durante el tiempo libre de ocio y en el trabajo, es oportuno permanecer en un escalón por debajo del umbral aeróbico-anaeróbico, ya que un trabajo muscular aeróbico se puede mantener durante más tiempo. Para la obtención de síntomas de adaptación referidos al rendimiento en el organismo se debe, sin embargo, trabajar en el entrenamiento con intensidades de movimiento que estén en el ámbito de los límites del rendimiento de resistencia. El efecto del entrenamiento se muestra en un desplazamiento vertical ascendente del límite del rendimiento de resistencia, de hecho de un modo absoluto, es decir, en vatios, y relativo, es decir, referido al rendimiento máximo. En las personas con entrenamientos de resistencia se desplaza hasta un 90% del máximo, mientras que en las que no están entrenadas se mantiene en el escalón de 2/3 del rendimiento máximo.

### **Cansancio – recuperación – pausa**

El *cansancio muscular*, así como el cansancio periférico, se produce cuando el músculo se empobrece de conexiones energéticas y acumula productos finales del metabolismo. Si los músculos trabajan con contracciones musculares dinámicas por encima

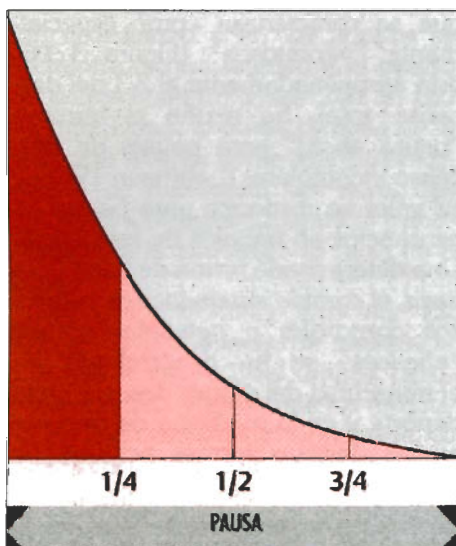


de los límites del rendimiento de resistencia individuales, los depósitos de fosfatos, vacíos durante la contracción, no se vuelven a llenar del todo durante el tiempo de relajación y se produce el llamado residuo de cansancio en los productos del metabolismo. La frecuencia cardíaca se eleva y permanece elevada, durante más o menos tiempo, dependiendo del nivel de cansancio tras el fin del trabajo, lo que constituye igualmente un indicio para el equilibrio de metabolismo existente. La suma del pulso de recuperación, es decir, la suma de los valores de posición de salida del pulso existente en la fase de relajación es un criterio para el examen, en la medicina laboral y del deporte, del grado de cansancio de un esfuerzo corporal. *Los síntomas del cansancio muscular* son, según las proporciones, movimientos disminuidos e inseguros, contracciones musculares retardadas, sensaciones desagradables en los músculos ("tirones", hasta llegar al dolor). En las *contracciones estáticas* por las que, como consecuencia de la compresión de los capilares, se proporciona energía aerobia, el cansancio se produce pronto. Depende de las proporciones de la fuerza empleada y del tiempo de parada. Si la fuerza está por debajo del 15% del máximo de fuerza ejercida espontáneamente (MVC = *maximal voluntary contraction*), la exigencia de energía es tan pequeña, que este esfuerzo estático puede producirse aeróbiamente. Entonces es posible que se dé una resistencia de parada durante horas. Si por el contrario la fuerza está en el ámbito de porcentajes ele-

vados de MVC (hasta la fuerza máxima) el trabajo estático se puede mantener, debido a la acidez local excesiva, como mucho durante un minuto.

El cansancio se elimina a través de la *recuperación*, y se vuelve a restablecer debido al equilibrio del metabolismo en el músculo gracias al transporte de productos del metabolismo y a través de la reconstrucción de sustratos. Por ello son muy importantes las *pausas de recuperación* en los esfuerzos corporales en el trabajo, el deporte y los tratamientos fisioterapéuticos. Desde la parte fisiológica del trabajo se determinan los valores de descanso de las diversas pausas. Desde un punto de vista experimental se demuestra que, para la recuperación, el principio de la pausa y el primer cuartil de la pausa de descanso son mucho más efectivos que el final de la pausa. En los periodos de pausa que se caracterizan como especialmente "ventajosos" (Figura 1.16) está aproximadamente el 2/3 del descanso total. Se acuña el término "pausa eficaz" para pausas de descanso incompletas (Lehmann 1962) y su valor se reconoce para pequeños cansancios en trabajos de resistencia. Una determinada forma de trabajo, es decir, el *cambio sistemático de esfuerzos corporales y pequeñas pausas "eficaces"* se ha desarrollado en el transcurso del último decenio en el deporte y en la medicina del deporte en las diversas formas actuales de "entrenamiento de intervalos". La duración de la pausa depende de la intensidad y la extensión del trabajo muscular empleado, así como del esfuerzo. Si, por ejemplo, en el entre-

namiento de fuerzas dinámicas y estáticas se repiten movimientos con contracciones musculares de tensión muscular elevada o se repiten ejercicios con grandes paradas y resistencias de pausa de varios segundos, se deben enlazar *pausas más largas = pausas de descanso reales*. La razón reside en que en las contracciones musculares estáticas y en las contracciones dinámicas con tensión muscular elevada se necesita preparación de energía anaerobia. Esto precisa un descanso total para que se puedan realizar varias repeticiones. Por eso, hoy en día en el deporte; en los entrenamientos de fuerza, fuerza resistencia (resistencia muscular local) y resistencia general se diferencia entre métodos de intervalo con pausas de descanso “eficaces” (no plenas) y pausas de descanso largas (plenas)



**Figura 1.16:** Valores de descanso del primer cuartil de la pausa (de Lehmann).

(Harre 1979). Por tanto, es válido el principio de entrenamiento: “Cuanto más elevada sea la intensidad del esfuerzo, más larga será la pausa”. La duración de la pausa y su organización tienen, en lo que se refiere a la fuerza y a la exigencia de resistencia en la fisioterapia, el mismo significado que en el entrenamiento deportivo.

El *cansancio central* es un proceso psicofísico que se puede unir al cansancio periférico, pero que se percibe exclusivamente en los esfuerzos físicos. Va conjuntamente con la “sensación de cansancio”. Los síntomas son:

- Trastorno de la coordinación del movimiento.
- Capacidad disminuida de concentración y percepción.
- Pérdida de motivación.

### Ejercicio y entrenamiento

Los términos “ejercicio” y “entrenamiento”, así como “ejercitar” y “entrenar”, se utilizan por regla general en el lenguaje médico con el mismo significado es decir, son sinónimos. Los médicos y pedagogos del deporte se han esforzado en dar una explicación aclaratoria.

La definición medicodeportiva de Hollmann y Hettinger (1980) hace la siguiente distinción entre ejercicio y entrenamiento:

“Ejercicio es la repetición sistemática de desarrollos de movimientos con la intención de una elevación de las prestaciones sin que se conciba la aparición de modificaciones morfológicas (es decir, en lo que se refiere a la forma de un órgano). El ejercicio caracteriza el factor de la coordinación, es decir, sirve para la colabora-

ción entre el sistema nervioso y el sistema muscular”.

“El *entrenamiento* apunta a una repetición sistemática de una tensión muscular con vistas a la aparición de adaptaciones morfológicas y funcionales (es decir, en lo que atañe al modo de actuar de un órgano) y que tienen por objetivo la elevación de las prestaciones”. Un efecto esperado del *entrenamiento* morfológico es, por ejemplo, el aumento de volumen de la fibra muscular en el *entrenamiento* de fuerza; un efecto funcional es la bradicardia de *entrenamiento* del corazón. El *entrenamiento* puede incluir también el factor del ejercicio, por ejemplo en “la repetición sistemática del mismo transcurso de movimiento para la elevación de la fuerza dinámica y la fuerza resistencia mejorará también la coordinación” (Hollmann y Hettinger 1980). Del término “*entrenamiento*” hay que concretar el de *estado del entrenamiento*, que designa el estado de la potencia aumentada y la disponibilidad para prestaciones elevadas en relación con una prestación dada.

Hollman y Hettinger (1980) recomiendan separar los términos *ejercicio* y *entrenamiento* —también en el uso del lenguaje médico— ya que se trata de procesos diferenciados. Por ejemplo, en los pacientes con graves trastornos orgánicos del corazón, el *entrenamiento* puede ser dañino, mientras que el ejercicio, a través de la mejora de la coordinación del movimiento, logra un efecto de ahorro de oxígeno (véase elevación de rendimiento a través del ejercicio) y puede ser muy valioso. Por otra

parte, los pacientes con pequeños trastornos orgánicos del corazón pueden entrenar en cierta medida y esto se ha evidenciado como una experiencia muy positiva con pacientes en “grupos de *entrenamiento*” en contraposición a los “grupos de ejercicios” (grupos ambulatorios cardíacos = grupos de enfermos que han superado infartos de miocardio)

En las *definiciones pedagógicas*, ejercicio y *entrenamiento* se diferencian de un modo parecido. Por *ejercicio* se entiende la ejecución repetida de habilidades deportivas para la mejora de la coordinación. En las clases de deporte a menudo se incluye el ejercicio dentro del ámbito del *aprendizaje del movimiento*. Lo más habitual es la división del aprendizaje del movimiento en tres fases. En la primera fase (coordinación gruesa o tosca) el estudiante adquiere una idea del transcurso de los movimientos que se van a aprender y se llevan a cabo, aun cuando sea de forma insegura, los primeros movimientos. Esta fase se caracteriza por una gran irradiación (extensión de la excitación), es decir, los impulsos nerviosos se extienden por encima del ámbito de los músculos necesarios para la ejecución del movimiento. Los movimientos son toscos e inseguros = forma tosca. La segunda fase es la de coordinación fina. Sirva para la adquisición de una forma fina. A esta fase sigue la tercera, que estabiliza el transcurso del movimiento y lo automatiza (Meinel 1977). En la terapia respiratoria fisioterapéutica esto se ha orientado a la cibernética del *modelo orientado de aprendizaje sensoriomotor* de Ungerer (1977) para

un aprendizaje rápido y libre de fallos, por ejemplo, de los movimientos de respiración. Ungerer propone una clara división entre el aprendizaje y el ejercicio. Según él, el aprendizaje de ejercicios = habilidades sensomotrices concluye cuando la persona que aprende ha realizado el ejercicio una vez, aun cuando sea de un modo “torpe” e “inseguro”. Los movimientos inseguros que provienen de la fase de aprendizaje se modelan por medio de repeticiones sistemáticas –que primero se califican como ejercicio– para llegar a un movimiento seguro y estable.

Bajo el concepto de *entrenamiento* se entiende en deporte la formación de los principios de rendimiento físicos (también características básicas) fuerza-rapidez-resistencia. Las habilidades aprendidas y practicadas se mejoran, ya que se pueden llevar a cabo con fuerza, resistencia y velocidad mayores.

La definición en medicina del deporte y pedagogía del deporte de ambos términos se asemeja en tanto que en ambas disciplinas se entiende por *ejercicio* la mejora de la práctica del movimiento y por *entrenamiento* los efectos de incremento de fuerza, resistencia y velocidad.

Por lo tanto, nosotros *proponemos que los términos ejercicio y entrenamiento se acepten en el sentido que se ha descrito con anterioridad en el uso del idioma fisioterapéutico.*

### 1.3.4. Aumento de las prestaciones a través del ejercicio

El ejercicio, es decir, la repetición

frecuente de éste transcurso de movimiento mejora la **coordinación** del mismo. Los efectos se muestran:

1. En la automatización del transcurso del movimiento.
2. En la disminución del gasto de inervación.

*Con respecto al apartado 1.* El proceso dirigido conscientemente por la corteza cerebral se traslada a la parte más profunda del cerebro, de modo que el transcurso del movimiento no necesita ser consciente y se genera un modelo óptimo de movimiento para el tipo del movimiento ejercitado. Esto permite que se observe un “flujo de movimiento armónico”, un gran dominio y seguridad del movimiento.

*Con respecto al apartado 2.* Los músculos trabajan sólo con la inervación necesaria, sin otros movimientos innecesarios. El transcurso del movimiento es más económico, ya que se ahorra energía y, con ello, oxígeno. La reducción del empleo de energía para el rendimiento llevada a cabo a diario será analizada por los fisiólogos del trabajo y por los médicos del deporte.

La figura 1.17 muestra la disminución del empleo de energía para una actividad que se realiza a diario. La columna de los días de trabajo muestra el empleo de energía del primer día, en estado de no ejercitación. Posteriormente, después del segundo y tercer día, el empleo de energía asciende, lo que, según Lehmann (1962) es el resultado de las agujetas. Se observa claramente que desde el tercer día al noveno el consumo de oxígeno va siendo continuado y más



bajo para después alcanzar valores constantes (Stegemann 1984). Las experiencias de Liesen y Hollmann (citados en Hollmann y Hettinger 1980) sobre el efecto del ejercicio en un rendimiento de carrera de un corredor de bicicleta y un nadador entrenado en resistencia y acostumbrado a la carrera, demuestran un claro ahorro de oxígeno de un 13%. Esto se observa tras una carrera diaria de entre 15 y 30 minutos de duración después de 2 a 3 semanas (Hollmann y Hettinger 1980). Si de todas formas se sobrepasan unas cifras determinadas de repeticiones de movimiento, empeora la coordinación, tal y como pueden mostrar los médicos laborales a la hora del examen de la habilidad manual. Hasta 150 repeticiones del mismo ejercicio se incrementa el efecto del ejercicio, y con un número más elevado empeora la coordinación (Hettinger y Seifer, citados en Hollmann y Hettinger 1980). Los movi-

mientos se hacen inseguros, lentos e irracionales, ya que se emplean más músculos.

“Los efectos del ejercicio” se reconocen siempre en el tratamiento fisioterapéutico cuando el paciente ha aprendido el ejercicio durante aproximadamente dos semanas y ha llevado a cabo las fases del movimiento con más seguridad, con un flujo de movimiento visiblemente “armónico”, y puede repetirlo a menudo, ya que su resistencia ha aumentado como consecuencia del menor gasto de energía.

La colaboración de varios grupos de músculos se designa como **coordinación intermuscular** y se mejora a través del ejercicio. La **coordinación intramuscular** se limita cuando varias unidades motrices de un músculo se inervan a la vez. Esta capacidad mejora a través del entrenamiento y con ello también aumenta la fuerza muscular.

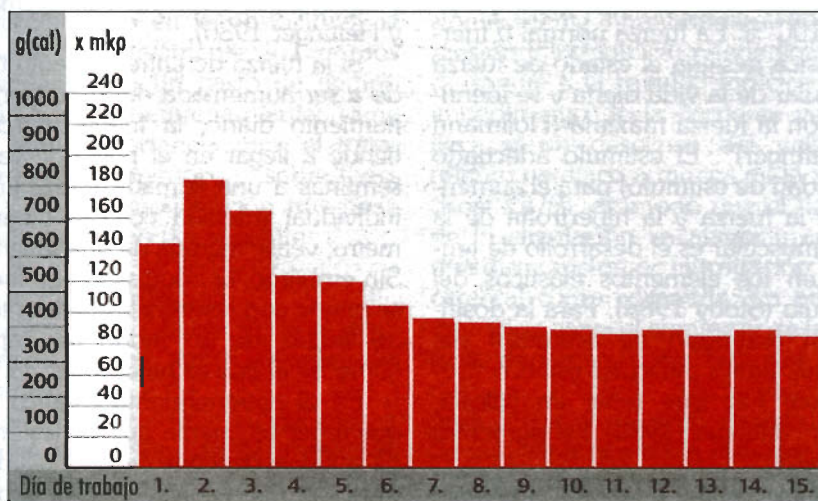


Figura 1.17: La influencia del ejercicio en el empleo de energía (de Lehmann).

### 1.3.5. Aumento de las prestaciones a través del entrenamiento

#### Entrenamiento de la fuerza muscular

El músculo desarrolla fuerza a través de la tensión que, debido a las dos formas de trabajo existentes, se denomina fuerzas **estática** y **dinámica**. Con una tensión elevada, la fibra muscular reacciona con un aumento (aumento de volumen = modificaciones morfológicas visibles), de modo que se incrementan tanto la fuerza como la sección transversal.

#### Entrenamiento de fuerza estática

La fuerza estática, es decir, "la fuerza de parada es la tensión que un músculo, en una posición corporal, es capaz de ejercer espontáneamente contra una resistencia fija. En la máxima tensión muscular espontánea estática, la fuerza empleada se designa como *fuerza máxima*, que equivale al 100 %. La fuerza normal o fuerza básica designa el estado de fuerza muscular de la vida diaria y se identifica con la fuerza máxima (Hollmann y Hettinger)". El estímulo adecuado (cualidad de estímulo) para el aumento de la fuerza y la hipertrofia de la fibra muscular es el desarrollo de tensión en los elementos elásticos del músculo (Stoby 1988). Para la dosificación (cantidad de estímulo) del entrenamiento muscular estático (isométrico) hay que tener en cuenta, según Hettinger (1983), los siguientes factores:

*Intensidad del estímulo:* Si el músculo se tensa con una fuerza máxima

del 20-30%, se mantiene la fuerza muscular, ya que este ámbito se corresponde con el nivel de esfuerzo del trabajo diario, que se puede mantener durante varias horas. En desarrollos de tensión bajos y en frecuencias de tensión, el músculo pierde fuerza y se atrofia en sentido transversal. El umbral del estímulo de entrenamiento debe estar por encima del 20-30 %. El mejor efecto de entrenamiento posible se logra cuando se ha empleado del 50 al 70 % de la fuerza máxima.

*Duración del estímulo:* Se debe alcanzar, en el ejercicio de fuerza, entre el 50 y el 70 % de la fuerza máxima durante unos 5-10 segundos y, con el uso de la fuerza máxima, durante 2-3 segundos.

*Alcance del estímulo:* La cifra óptima de contracciones estáticas es 5 por día, lo que quiere decir que contracciones practicadas con más frecuencia no llevan a un aumento de la fuerza (Josenhans 1962, citado en Hollmann y Hettinger 1980).

Si la fuerza de entrenamiento tiende a ser aumentada durante el entrenamiento diario, la fuerza muscular tiende a llegar en el plazo de varias semanas a una llamada fuerza límite individual (medida con un dinamómetro; véase medida de rendimiento). Sin embargo, la adquisición de fuerza se pierde con resistencias deficientes y de hecho, de un modo tan rápido como en el que se ha establecido.

En el entrenamiento estático hay que tener en cuenta que el desarrollo de la fuerza depende de la longitud del músculo, que varía según sea la posición angular de la articulación. En el

deporte se deben elegir las posiciones que correspondan a las fases más complicadas del tipo de deporte.

A continuación hay que tener en cuenta que los músculos del tronco están más especializados en la parada (motricidad de apoyo), y la mayor parte de los músculos de las extremidades en el movimiento (motricidad de objetivo). La debilidad de los músculos de la espalda y los abductores se debe tener en cuenta selectivamente en el entrenamiento de fuerza estático en la fisioterapia. Aquí no podemos tratar las otras dependencias del entrenamiento muscular (véase en la bibliografía Hettinger 1983).

Para encontrar en la práctica de un estímulo adecuado de entrenamiento el porcentaje de la fuerza máxima, Hettinger recomienda que las personas sanas entrenen con fuerza máxima durante 2-3 segundos de tiempo de adaptación diario, con 2-3 repeticiones.

Las ventajas de un entrenamiento estático residen en la posibilidad de entrenar selectivamente los grupos musculares con un gasto de tiempo mínimo para el entrenamiento. Tiene una gran importancia para el tratamiento fisioterapéutico y, sobre todo, en la fase de movilización tras posiciones de reposo del paciente.

Las desventajas son:

- a) La educación de fuerza no se logra en el marco del transcurso del movimiento.
- b) Las contracciones estáticas causan una limitación de la irrigación muscular a causa de la compresión capilar. La irrigación se debe

interrumpir totalmente en un 70 % de la fuerza máxima.

- c) Inmediatamente después del uso de la fuerza máxima de los grupos musculares más grandes se produce un proceso de presión. Éste, debido a su significado para el tratamiento fisioterapéutico, se explicará con más detenimiento.

Con el cierre de la glotis y la suspensión de la respiración se eleva, a través de la tensión de los músculos abdominales y de una parte de los de la espalda, las presiones intratorácica y la intraabdominal. Simultáneamente se eleva la presión en la zona de la vena cava inferior y superior en una cierta medida (por ejemplo 100 mmHg). En las venas periféricas se produce de igual modo, aunque de forma más retrasada, una elevación de la presión. El transporte sanguíneo desde la vena cava superior en la caja torácica se reduce y de la cava inferior (a consecuencia del paso de la presión existente intraabdominal hacia la presión intratorácica) puede fluir algo de sangre a la cavidad torácica. Este impedimento de la corriente venosa lleva a un descenso del volumen minuto cardíaco a menos de la mitad (Rost 1979), de modo que el tiempo de la circulación se alarga y resulta una disminución de la irrigación tanto cerebral como coronaria. La presión arterial se eleva al comienzo de la presión, de hecho, hasta la altura de la presión. A corto plazo desciende para, después y como consecuencia de una elevación de la resistencia periférica, volver a elevarse. La elevación de la resistencia demuestra un

aumento de la actividad simpática. Tras la eliminación de la presión desciende la presión sanguínea arterial y después asciende debido al aumento del volumen minuto cardíaco ocasionado por la vasoconstricción existente. La frecuencia cardíaca se modifica inversamente a la presión arterial, es decir, cuando la presión sanguínea arterial sube, cae la frecuencia cardíaca. Los síncope (pequeñas pérdidas de conocimiento) y estados de colapso ocurren antes del proceso de presión. Por eso la forma de respiración a la hora de realizar un entrenamiento de fuerza estático es decisiva. Los pacientes con trastornos circulatorios (hipertensos, con esclerosis coronaria y cerebral, enfermos de corazón, pacientes con obstrucción de las vías respiratorias) deben evitar las compresiones.

Las consecuencias pueden ser:

- Debido a una elevación de la presión arterial en la hipertensión (por ejemplo, por encima de 300 mmHg).
- Debido a la pérdida de volumen minuto cardíaco por disminución de la irrigación coronaria.
- Debido al aumento de la presión de las venas cerebrales y de la presión del líquido cefalorraquídeo por hemorragias perivasculares.
- Debido al estímulo del vago tras la presión hay una tendencia a trastornos del ritmo (Rost 1979).

En estos pacientes con afecciones circulatorias debe evitarse contracciones musculares estáticas máximas así como medirse la fuerza de la tensión muscular de forma que el paciente

pueda seguir respirando sin dificultad.

### **Entrenamiento de la fuerza dinámica**

“La fuerza dinámica (fuerza de movimiento) es la fuerza que se puede desarrollar espontáneamente dentro del curso del movimiento” (Hollmann y Hettinger 1980). Para ello es característico la alternancia de contracción y relajación. Se diferencian dos formas distintas:

- La fuerza dinámico-concéntrica (fuerza superada), es decir, el músculo se reduce y la tensión muscular utilizada es mayor que la fuerza exterior actuante.
- La fuerza dinámico-excéntrica (fuerza cedida), es decir, el músculo reúne una “fuerza de frenado” durante el alargamiento muscular y la fuerza que actúa desde fuera es mayor que la tensión desarrollada por el músculo.

Una forma especial de la fuerza dinámica es la fuerza elástica. “Por ella se entiende la capacidad para desarrollar en un tiempo corto una fuerza elevada dentro del curso de un movimiento” (Hollmann y Hettinger 1980), por ejemplo en los lanzamientos, golpes o saltos. Se entrena con los mismos métodos que la fuerza dinámico-concéntrica.

En el curso de un movimiento siempre se puede utilizar exclusivamente una gran tensión muscular, es decir, un empleo intenso de fuerza. Por ello, para el entrenamiento de fuerza dinámica es decisivo el número de repeticiones. Para el entrena-



miento de la fuerza dinámica se utilizan el llamado método de repetición, pero también el método interválico, que sin embargo se utiliza más para el entrenamiento de rapidez y resistencia. El entrenamiento de la fuerza dinámica tiene un gran significado en el deporte. Junto con la elección del método de entrenamiento es esencial el medio de entrenamiento, es decir, si los ejercicios de fuerza se pueden llevar a cabo con o sin un esfuerzo adicional del propio peso corporal. La ventaja del entrenamiento de fuerza dinámica con sus repeticiones del movimiento reside en la simultaneidad de entrenamiento y ejercicio, ya que con la fuerza se mejora la coordinación.

También para la motricidad diaria ambas formas de trabajo de fuerza muscular dinámica tienen un gran significado. Así, por ejemplo, al subir escaleras y al ponerse de pie en una silla la musculatura ventral del muslo ejerce un esfuerzo muscular dinámico-concéntrico mientras que el mismo grupo muscular, al bajar escaleras y al sentarse en una silla, emplea una fuerza muscular dinámico-excéntrica.

El entrenamiento de la fuerza dinámica se divide en :

**1. Entrenamiento de la fuerza dinámica-concéntrica:** En él la fuerza se desarrolla a través de la resistencia. Se realiza con el cuerpo del que realiza el entrenamiento (extremidades, tronco), manualmente por el que realiza el tratamiento, con aparatos de manos (sacos de arena, halteras) o con aparatos especiales de entrenamiento de fuerza.

Las *ventajas* de un entrenamiento de la fuerza dinámica-concéntrica residen en la simultaneidad de entrenamiento y ejercicio, ya que con la fuerza se mejora también la coordinación intramuscular. También se pueden trabajar selectivamente músculos que toman parte en el curso del movimiento.

Las *desventajas* residen, en particular, en el desarrollo de una tensión no uniforme en el curso del movimiento, es decir, con el comienzo del movimiento y según el ángulo articular se desarrolla una tensión elevada que remite en el curso siguiente. Por ello, en el entrenamiento de la fuerza dinámico-concéntrica, es decisivo el número de repeticiones.

**2. Entrenamiento de la fuerza dinámico-excéntrica:** En él la fuerza se desarrolla con el estiramiento del músculo en tensión a través de una carga o de la persona que realiza el tratamiento. Ya que los elementos elásticos del músculo se extienden a través de una fuerza externa, se da una tensión adicional hacia la tensión de contracción del músculo.

Las *ventajas* del entrenamiento de la fuerza dinámico-excéntrica residen en la elevada tensión muscular que se consigue con el entrenamiento muscular excéntrico. "El máximo de fuerza excéntrica es un 30-40% superior al del entrenamiento de fuerza dinámico-concéntrica" (Bührle-Schmidtbleicher, citado en Weineck 1983). Además, el trabajo muscular "frenado" precisa menos energía que el trabajo muscular "superado", ya que el consumo de oxígeno es, para el

mismo esfuerzo, esencialmente más pequeño (Hollmann y Hettinger 1980, pág. 177). La tensión muscular mayor, entre un 200 y un 300%, lleva, bajo la resistencia excéntrica máxima, en comparación con la resistencia concéntrica, a procesos de tipo excéntrico por parte del haz muscular fuertemente extendido (Hollmann y Hettinger 1980).

Las *desventajas* residen en el esfuerzo de las articulaciones, cuyas superficies, debido al fuerte efecto de tracción muscular, "presionan considerablemente una contra otra". Se hace comprensible que, por ejemplo, personas con las articulaciones de rodilla alteradas por la artrosis, al bajar las escaleras (debido al trabajo muscular dinámico-excéntrico de la musculatura ventral del muslo) tengan más dolores en estas articulaciones que cuando suben escaleras. También el entrenamiento de fuerza dinámico-excéntrica en el tratamiento de dolencias en las articulaciones de la rodilla y tras operaciones de articulaciones de rodilla se realiza con mucho cuidado o casi no se realiza.

### **Entrenamiento isocinético**

R. Hünig

En la carga muscular isocinética se procede a un desarrollo de la fuerza dinámica. En contraposición al habitual modo de trabajo dinámico, en el que se desarrolla la fuerza en contra de una resistencia fija con una velocidad desconocida, la resistencia isocinética se acomoda a las fuerzas desarrolladas por el músculo, donde la velocidad de movimiento se fija de antemano. La resistencia, que está

planteada a través de aparatos, se ajusta en cada punto a las posibilidades de movimiento del ámbito de la fuerza instantánea desarrollada por el músculo afectado.

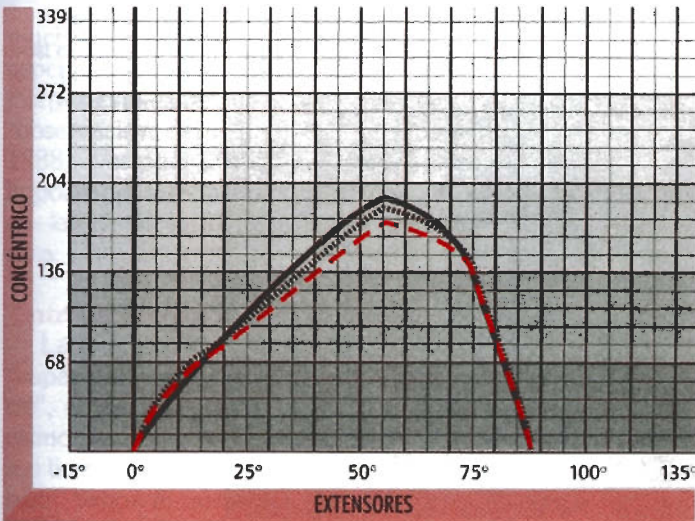
Así es posible forzar al músculo en su desarrollo fisiológico de fuerza con sistemas isocinéticos de manera proporcionalmente óptima (Figura 1.18).

La adaptación de la resistencia se alcanza a través de una adaptación del movimiento a una velocidad constante, la cual se decide antes del comienzo del entrenamiento. En los sistemas isocinéticos del Fa. Cybex (figura 1.19) la velocidad (que se mide como velocidad angular en grados por segundo, °/s) es ajustable de 0 a 500°/s. También es posible llevar a cabo movimientos a velocidades funcionales (velocidad de la pierna al andar, aproximadamente de 230 a 240°/s).

Se alcanza una buena formación muscular con velocidades de movimiento inferiores (30-150°/s); con velocidades más altas se puede preparar los músculos o las articulaciones para un esfuerzo funcional diario.

La acomodación de la resistencia concierne tanto a la fuerza como a situaciones dolorosas y al cansancio, lo que en la rehabilitación es de una significación decisiva.

Los modos de esfuerzo muscular se pueden elegir en el sistema Cybex concéntrica y excéntrica. Además, es posible que los movimientos se hagan de forma pasiva o pedir al paciente una ejercitación activa asistida. Junto al programa de entrenamiento, la isocinesia ofrece la posibilidad de llevar a cabo programas de



**Figura 1.18:**  
Desarrollo de la fuerza en el m. cuádriceps con 90° de flexión hasta 0° de extensión.

test para todos los modos de movimientos descritos anteriormente. Aquí se muestra una comparación en los desequilibrios musculares de las extremidades evaluadas también para un gran número de parámetros, por ejemplo,

- desarrollo de fuerza máxima con el correspondiente ángulo articular,
- desarrollo de fuerza en el ángulo articular deseado,
- trabajo efectuado por el músculo,
- rendimiento producido por el músculo,
- fuerza explosiva del músculo (capacidad de inervación),
- cansancio (capacidad de resistencia),
- comportamiento agonista / antagonista
- etcétera.

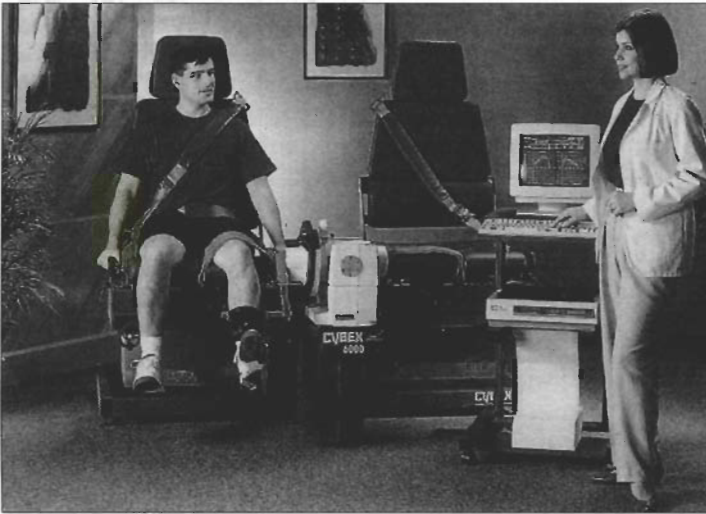
Estos programas de exploración y entrenamiento se pueden llevar a cabo en el Sistema Cybex de articulación múltiple para 18 modelos de

movimiento, tanto con una sola articulación como también funcionalmente (presión en la pierna, diagonal de los hombros).

**Fuerza resistencia:** Una forma de organización para el entrenamiento de la fuerza resistencia es el entrenamiento en circuito o ciclo, que también ejercita determinados grupos musculares, que se combinan uno tras otro en los programas de práctica.

### Entrenamiento de la elasticidad

La elasticidad es una condición indispensable para una buena ejecución del movimiento y debe entrenarse al mismo tiempo que la fuerza. La elasticidad depende de la elasticidad de los músculos, ligamentos y tendones y de una cápsula articular elástica. Las mujeres tienen más elasticidad que los hombres, y en los niños hay que tener en cuenta que su sorprendente capacidad elástica a menudo está relacionada con las debilida-



**Figura 1.19:**  
Entrenamiento isocinético con el Sistema Cybex.

des posturales. Con la edad se reduce la capacidad de elasticidad del tejido. Es importante para la mejora de la elasticidad:

- un buen precalentamiento de los músculos y ligamentos que se van a ejercitar,
- una práctica diaria.

Para el entrenamiento o la práctica de la elasticidad se utilizan en fisioterapia técnicas de estiramiento activas y pasivas:

- Estiramientos pasivos o técnicas de estiramiento producidos por influencias externas:
  - a través de la fuerza de la gravedad,
  - a través del fisioterapeuta.

El paciente se tiene que relajar muy bien durante el estiramiento pasivo para poder ceder completamente a la influencia exterior. Tiene que suspender sobre todo la

tonicidad mínima de los músculos. Si lo consigue, el músculo está poco inervado y es muy capaz de estirarse. Se alargan todos los tejidos conjuntivos y estructuras contráctiles del músculo con sus ligamentos.

- Estiramientos activos o técnicas de estiramiento producidos por el propio practicante:
  - a través de la tensión de los antagonistas (contraproducidos), porque los agonistas (productores) se tensan,
  - a través del estiramiento del sistema muscular siguiendo la tensión isométrica (estática), esto es durante la llamada relajación postisométrica. Durante la relajación postisométrica, la tensión es mayor cuanto más fuerte haya sido la contracción anterior.

Hay que evitar un estiramiento rápido, contrario y doloroso. Vale



mucho más llevar al paciente a la percepción de sus facultades de estiramiento, esto es, enseñar al paciente la "observación del cuerpo" (Ehrenberg 1988, Westphal 1988). Esto es muy importante para la práctica individual de las técnicas de estiramiento en casa.

### Entrenamiento de la resistencia

La resistencia se caracteriza por la "capacidad de oposición al cansancio", es decir, la capacidad del organismo para aguantar durante el máximo tiempo posible una actividad concreta. Según el número de los músculos que trabajan se diferencia entre resistencia muscular local y resistencia muscular general. Hollmann y Hettinger (1980) distinguen entre:

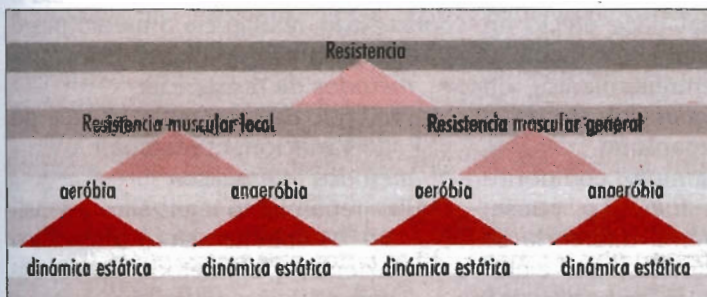
- resistencia muscular local, es decir, la resistencia de una masa muscular inferior a 1/6-1/7 de la masa del músculo esquelético y
- resistencia muscular general, es decir la resistencia de una masa muscular superior a 1/6-1/7 de la masa del músculo esquelético.

A consecuencia de los dos modos de trabajo de los músculos, esto es, de las contracciones estáticas y dinámi-

cas, con sus liberaciones energéticas anaeróbicas y aeróbicas, Hollmann y Hettinger (1980) diferencian más el esfuerzo de resistencia (Figura 1.20).

### Métodos para el entrenamiento de la resistencia muscular local y la resistencia general

El entrenamiento de resistencia se lleva a la práctica hoy en día en forma de esfuerzo continuado e intermitente. Sirve para el desarrollo de las llamadas capacidades aerobia y anaerobia. Por *capacidad aerobia* se entiende la captación máxima de oxígeno, la cual es idéntica a la capacidad de transporte de oxígeno por el sistema cardiovascular o también la utilización de oxígeno en el sistema periférico. A través del entrenamiento corporal se llega a una mejora en la recepción de oxígeno o a una mejora en los antecedentes en el cambio de metabolismo aeróbico del músculo. Por *capacidad anaerobia* entendemos la capacidad muscular de liberar energía por vía anaerobia, esto es, gracias al aprovechamiento de los fosfatos ricos en energía con producción de lactato. El límite aerobio-anaerobio mencionado determina la zona de transición, hasta que se libera energía



**Figura 1.20:**

Esquemas de las diferentes formas de capacidad de rendimiento de la resistencia (de Hollmann y Hettinger).

por vía aeróbica. La capacidad de rendimiento máxima se determina a partir de la suma de las capacidades aeróbica y anaeróbica. Mientras que la capacidad aeróbica se puede entrenar al máximo, las opiniones con respecto a la capacidad anaeróbica son muy discrepantes. De todos modos, ésta se entrena en pocas ocasiones.

Los estímulos de esfuerzo y de desarrollo cualitativo practicados en el entrenamiento de resistencia se dosifican en la práctica deportiva cuantitativamente según determinados componentes del estímulo (Harre 1979), que son la intensidad del estímulo, duración del estímulo, densidad del estímulo y el volumen del estímulo.

- *Intensidad del estímulo*: nivel del esfuerzo, es decir fuerza de uno o más de los estímulos del movimiento en una serie (repeticiones del movimiento). Las mediciones y las unidades de medida del nivel del esfuerzo son la velocidad (m/s o km/h), la frecuencia del movimiento (número/s), la fuerza o la oposición a ella (N), el rendimiento o el trabajo por tiempo (kpm/s o vatios) y la frecuencia cardíaca (lat./min).
- *Duración del estímulo*: más o menos tiempo en el que el movimiento individual hace efecto en forma de estímulo de esfuerzo (estímulo de entrenamiento) en una serie de movimientos o en el desarrollo del organismo.
- *Densidad del estímulo*: comportamiento entre esfuerzo y pausa, esto es, con cuánta diferencia se suceden los estímulos; por ejemplo, si es una pausa larga, hay una densidad menor del estímulo, mientras que en una pausa corta la densidad del estímulo es mayor.
- *Volumen del estímulo*: es el tiempo de un esfuerzo conjunto en una unidad de entrenamiento, la cual se deriva de la suma de las repeticiones de movimiento o series de movimiento o duración de una carrera incluyendo las pausas.

Para la consecución de la intensidad de estímulo en el deporte se averiguan las mejores marcas (rendimiento máximo), como a qué velocidad recorre un deportista una distancia o cuántos ejercicios de fuerza puede realizar hasta que aparezca el cansancio. Este valor del rendimiento máximo se establece como el del 100%. Después se fija la intensidad del estímulo en un 50-70-90% del rendimiento máximo para cada modo de entrenamiento.

Cada uno de los componentes del rendimiento están en estrecha interrelación y causan un efecto total sobre el organismo. Deciden a través de una combinación variable los diferentes métodos de entrenamiento y sus objetivos. Por otra parte, se distingue entre más métodos para el entrenamiento de la resistencia (también en la forma de la llamada resistencia a corto plazo, resistencia a medio plazo y resistencia a largo plazo). Son:

- *métodos de resistencia*:
  - a) método de resistencia, b) método de variación, c) marcha;
- *métodos interválicos*:
  - a) entrenamiento interválico intensivo, b) entrenamiento interválico extensivo, c) método de repeticiones.

### **Métodos de resistencia-entrenamiento de resistencia**

Los métodos de resistencia son *esfuerzos continuados* que no se interrumpen por una pausa. Se diferencian varias formas:

**Método de resistencia:** El método de resistencia trabaja con esfuerzos, que se efectúan a la misma velocidad en el llamado *steady state* (estado de equilibrio) de todas las funciones orgánicas. El organismo trabaja con una preparación de energía aerobia y no determina una falta considerable de oxígeno. En un esfuerzo en carrera, el organismo reacciona al comienzo de un período de entrenamiento con una frecuencia cardíaca que va aumentando rápidamente y con un rendimiento de resistencia menor. En el transcurso del entrenamiento se puede, con reajustes crecientes, aumentar el rendimiento de resistencia conservando la misma frecuencia cardíaca, por ejemplo de 10 a 15 minutos y luego a 20 minutos.

Los adultos desentrenados y los niños deben entrenar por lo menos al 50% de su rendimiento cardiovascular máximo. Este rendimiento se calcula en base a dos reglas encontradas empíricamente:

- frecuencia cardíaca (FC) 180 menos la edad (Baum-Hollmann-Formel, 1971 / 1976).
- Media de la FC máxima más la FC en reposo. Ejemplo: un adulto que tiene una FC máxima de 180 lat./min y una FC en reposo de 60 lat./min ( $180 + 60 = 240 : 2 = 120$ ), debe entrenarse con una FC de 120 lat./min.

El método de resistencia con un esfuerzo continuado o constante tiene una intensidad del estímulo baja y es ideal para el aumento de la resistencia general aerobia. Se ha desarrollado en la forma más habitual del entrenamiento de mantenimiento, el *jogging* (trote). Al mismo tiempo se desarrollan también la resistencia de los músculos dinámicos locales de la pierna. El deportista de competición, por el contrario, entrena con una frecuencia cardíaca sensiblemente mayor, por ejemplo, con un 80-90% del rendimiento máximo, es decir, con una frecuencia cardíaca de aproximadamente 170-190 lat./min.

El aumento del esfuerzo acontece por el cambio de los componentes del estímulo, es decir, la distancia que hay que cubrir se recorre más rápido (intensidad del estímulo), se trabaja con una distancia más larga (duración de la intensidad) y una distancia más larga se recorre más rápido (intensidad del estímulo + duración de la intensidad).

**Método de variación:** En el método de variación se va cambiando de modo planificado la velocidad de la carrera en distancias fijadas con anterioridad en el ámbito de un esfuerzo de carrera mayor (aproximadamente 20 minutos), de manera que se intercambien niveles de frecuencia cardíaca, por ejemplo, 140 lat./min y 160 lat./min.

Se efectúa una modificación del método de variación para la mejora del rendimiento de resistencia en las carreras con principiantes sanos y con enfermos resistentes. En el caso de

principiantes desentrenados (y en enfermos) no se determina la forma de andar y correr fijando las distancias a recorrer en sus variantes de marcha o carrera, sino la duración de la carrera y de la marcha. En rendimientos de duración muy bajos cambiar de 3-5 minutos andando 0,5-1 minuto corriendo (al trote), hasta que se haga posible una carrera de 5-10 minutos sin pausa.

**Marcha:** La llamada marcha es un método para el desarrollo de la resistencia de larga duración (a 30 minutos). Es una carrera por el campo en la que se va alternando la velocidad de la carrera y la velocidad durante la marcha.

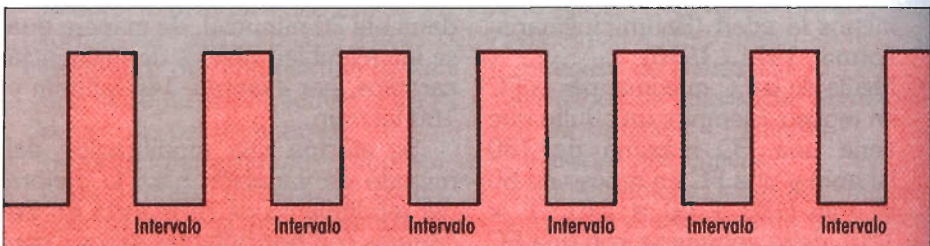
### Método interválico – entrenamiento interválico – trabajo interválico

El método interválico es un esfuerzo intermitente caracterizado por una alternancia sistemática entre esfuerzos y cortas pausas “rentables”. El intervalo es el espacio temporal que hay entre los esfuerzos (Figura 1.21). El principio del entrenamiento con intervalos es la pausa incompleta, que no lleva a la recuperación total, de modo que se exige al

cuerpo el siguiente esfuerzo cuando aún se encuentra cansado y recuperándose del trabajo. Hoy, en la práctica deportiva se diferencia entre el entrenamiento interválico extensivo e intensivo, o el método interválico a corto, medio y largo plazo.

**Entrenamiento interválico intensivo** o método interválico a corto plazo (Figura 1.22). Exige:

- *intensidad alta del estímulo*, por ejemplo en el entrenamiento de la fuerza dinámica el 80-100% de la fuerza máxima (calculado a partir del rendimiento máximo) o correr con una frecuencia cardíaca de aproximadamente 170-190 lat./min = 80-90% de la capacidad de rendimiento cardiopulmonar máximo (porcentaje calculado a partir de la suma de la FC en reposo y la FC máxima);
- *duración corta del estímulo*, por ejemplo de 2 a 4 repeticiones del movimiento en ejercicios de fuerza o 10 segundos de duración de carrera;
- *poca densidad del estímulo*, porque la pausa dura por ejemplo 50 segundos en una fase de esfuerzo de 10 segundos; la relación del



**Figura 1.21:** Entrenamiento interválico (de Schmolinsky).



esfuerzo a la pausa es 1:5 (entre los esfuerzos de alta intensidad hay pausas relativamente largas);

- *poco volumen del estímulo*, por ejemplo 5-7 minutos, porque la intensidad es elevada.

El entrenamiento interválico intensivo mejora la elasticidad, la capacidad anaerobia y con ello la resistencia a corto plazo. Ejercita la capacidad de recuperación.

**Entrenamiento interválico extensivo** o método a medio o largo plazo (Figura 1.23). Exige:

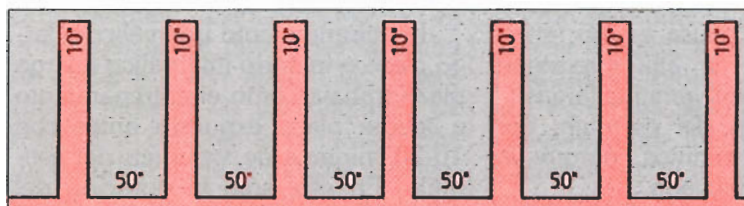
- *intensidad media del estímulo*, por ejemplo en el entrenamiento de la fuerza dinámica el 60-70% de la fuerza máxima (calculado a partir del rendimiento máximo) o correr con una frecuencia cardíaca de 150-160 lat./min = 60-70% de la capacidad de rendimiento cardiopulmonar máxima (porcentaje calculado a partir de la suma de la FC en reposo más la FC máxima);
- *duración larga del estímulo*, por ejemplo de 5 a 6 repeticiones de los movimientos en los ejercicios de fuerza o 60 segundos de duración de la carrera;
- *densidad alta del estímulo*, porque la pausa a menudo dura sólo 30 segundos y con ello la relación del esfuerzo con respecto a la pausa es 2:1. Entre los esfuerzos hay pausas más cortas que en el entrenamiento con intervalos;
- *volumen grande del estímulo*, por ejemplo 10-20 minutos, porque la intensidad es media y es posible hacer varias repeticiones.

El entrenamiento interválico a largo plazo o método interválico a largo plazo trabaja como el entrenamiento a medio plazo expuesto antes con 10-20 minutos de volumen del estímulo. En éste sólo la duración del estímulo es más larga, y el volumen del estímulo supera los 30 minutos. El entrenamiento interválico extensivo ejercita la resistencia a largo y corto plazo, y mejora –debido a la poca intensidad del estímulo– la capacidad aerobia.

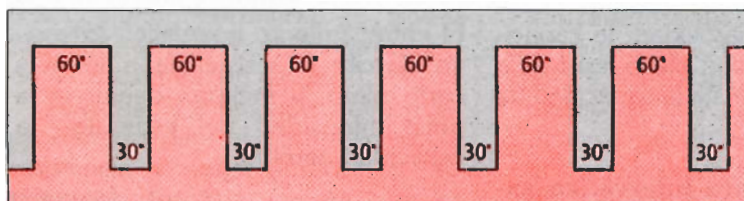
### **Método de repeticiones – entrenamiento de repeticiones**

El método de repeticiones es un esfuerzo intermitente que está caracterizado por la alternancia sistemática de esfuerzos y largas pausas, es decir verdaderas pausas de recuperación. Se aplica el entrenamiento de fuerza resistencia dinámica cuando se trabaja con gran empleo de la fuerza y, por tanto, con una preparación de energía anaerobia. Se alternan las series de movimientos con contracciones musculares dinámicas de determinados grupos musculares y pesos añadidos al peso corporal (por ejemplo: balones medicinales, pesas, sacos de arena y otros aparatos) con pausas de 5-10 minutos de duración. La pausa larga sirve para la completa degradación de los productos medios y finales del metabolismo y se completa la mayoría de las veces con ejercicios de relajación. Sólo estas pausas largas posibilitan la continuas repeticiones de las series de ejercicios de fuerza.

El método de repetición entrena la resistencia muscular anaerobia dinámica local.



**Figura 1.22:**  
Entrenamiento  
intensivo intervá-  
lico = método  
interválico a  
corto plazo (de  
Scholtzmethner).



**Figura 1.23:**  
Entrenamiento  
extensivo intervá-  
lico = método  
interválico a  
medio plazo (de  
Scholtzmethner).

### Efectos del entrenamiento deportivo y las técnicas de tratamiento para la gimnasia para enfermos en el ámbito de la resistencia muscular local

Por resistencia muscular local se entiende un rendimiento de resistencia en la masa muscular que por ejemplo, abarca algo más que los músculos de una pierna, un brazo o ambas piernas. Conforme a la distinta preparación de la energía, Hollmann y Hettinger (1980) siguen dividiendo la resistencia muscular en local aerobia y local anaerobia.

#### Resistencia muscular aerobia local

Se puede hacer uso de grupos musculares de pequeños a medios con contracciones musculares estáticas y dinámicas en el sentido de la resistencia muscular aerobia local. Por ello se sigue diferenciando entre resistencia local aerobia dinámica y local aerobia estática.

Si los músculos trabajan con contracciones dinámicas en un espacio de tiempo largo (al menos 10 minutos),

se utilizan en la **resistencia muscular aerobia local dinámica** grupos musculares de pequeños a medios. Si la frecuencia del movimiento no es demasiado rápida y la tensión muscular permanece por debajo del 20-30% de la fuerza máxima estática, entonces los músculos trabajan en el ámbito aerobio, es decir, por debajo del límite de su resistencia o del umbral aerobio-anaerobio.

El entrenamiento de la resistencia muscular aerobia dinámica local está incluido en las formas de entrenamiento de larga y media duración del método de resistencia y del método interválico extensivo, es decir, si en vez de entrenarse con un 50% del rendimiento máximo del sistema cardiovascular, se hace el entrenamiento con un 60-70% del rendimiento cardiovascular máximo durante varias semanas y la tensión muscular permanece por debajo del 30% de la fuerza estática máxima en las contracciones dinámicas.

El efecto del entrenamiento se muestra en las adaptaciones hemodi-

námica (que afectan a la circulación sanguínea) y metabólica (que afectan al metabolismo del músculo). La adecuación hemodinámica reside en una mejor distribución de la sangre en el músculo y en la creciente capilarización (según Hollmann y Hettinger [1980]: apertura de los capilares en reposo, ampliación y alargamiento de los capilares existentes, nueva formación eventual). Los efectos metabólicos se muestran en el descenso del ácido láctico, y en el incremento de las enzimas mitocondriales.

Las técnicas de tratamiento fisioterapéuticas, las cuales utilizan grupos de músculos de pequeños a medianos en la resistencia muscular aerobia local dinámica, incluyen el movimiento libre en forma de resistencia y el movimiento contra una (pequeña) oposición en forma de resistencia. Los efectos del entrenamiento, es decir, las crecientes adaptaciones del rendimiento en la hemodinámica periférica y en el metabolismo con el significado descrito antes, sólo pueden ser aceptados cuando se mejora con asiduidad diaria o semanalmente el rendimiento de la resistencia de los grupos musculares entrenados. Si, por el contrario los músculos trabajan sólo de manera pasajera, es decir, durante algunos días, 1 a 2 semanas, y no con la dosificación necesaria para la consecución de un efecto de entrenamiento, sino que son tratados con un determinado objetivo terapéutico (consecución de una regulación de la circulación en reposo en la cama, inclusión de una "bomba muscular" para la tromboprofilaxis o la desconges-

ción de edemas, movilización después de la recuperación en la cama), sólo pueden aparecer adaptaciones reactivas de tipo transitorio. Presumimos que se trata de la apertura de capilares en reposo, velocidad del flujo linfático y venoso u otros.

Si aumenta la frecuencia del movimiento en los ámbitos máximos, esto es, si las contracciones dinámicas se vuelven demasiado rápidas o aumenta la parte estática de la contracción muscular dinámica, se tiene que liberar la energía por vía anaerobia. Entonces el rendimiento de la resistencia está limitado, y los músculos trabajan en una resistencia anaerobia local dinámica.

"La resistencia aerobia local dinámica representa una de las mayores características de las formas motrices de trabajo. Para la mayoría de los deportes, así como para la terapia del movimiento y la rehabilitación, se necesita una dimensión especial de esta característica" (Hollmann y Hettinger 1980).

En la **resistencia muscular aerobia local estática** se utilizan pequeños grupos musculares cuando la contracción muscular estática está por debajo del 15% de la fuerza estática máxima. Entonces todavía es posible una liberación de energía por vía aerobia.

Para el deporte esta forma de trabajo apenas tiene significación. En la fisioterapia se utiliza cuando, en posición erecta, se tiene que sostener el tronco durante varios minutos contra la fuerza de gravedad (vease parada en porcentaje de la fuerza máxima así como movimiento y parada).

### **Resistencia muscular anaeróbica local**

Para la resistencia muscular anaeróbica es característica la alta participación estática, que en la contracción estática o dinámica está por encima de un 50% de la fuerza estática máxima. A partir de este punto se produce, a causa de una compresión completa de los capilares, el cese de la irrigación. Esto exige una liberación de energía por vía anaeróbica. Se diferencia entre la resistencia muscular anaeróbica local dinámica y la anaeróbica local estática.

En la **resistencia muscular anaeróbica local dinámica** se utilizan grupos musculares con un tamaño de pequeño a mediano, que se contraen rápidamente o tanto tiempo como sea posible en contra de una oposición física. Éste es, por ejemplo, el caso de las series de movimientos con los músculos del antebrazo o de la pierna en el ámbito del entrenamiento de la fuerza dinámico-concéntrica. Si las oposiciones físicas son demasiado altas, entonces el número de repeticiones de los movimientos (es decir, la fuerza resistencia dinámica) depende de la capacidad de la liberación de energía por vía anaeróbica. Esta capacidad crece con la fuerza estática máxima.

En el deporte se lleva a cabo la mayoría de las veces un entrenamiento de la fuerza dinámica con grandes grupos musculares, con gran porcentaje de la fuerza máxima, por ejemplo en el levantamiento de pesas por el método de repetición. En el tratamiento fisioterapéutico se utilizan, en técnicas como en el “movimiento

en contra una oposición”, pequeños grupos de músculos, por ejemplo una presión repetida de muelles o varias flexiones con los dedos contra una oposición manual en la forma de series de movimientos de los músculos en resistencia anaeróbica local dinámica. Éstos necesitan para la repetición de la serie pausas largas, es decir, verdaderas pausas de recuperación de varios minutos entre serie y serie.

En la **resistencia muscular anaeróbica local estática** se utilizan pequeños grupos musculares, cuando fijan más de un 15% de la fuerza estática máxima, esto es, en parada, o cuando llevan a cabo un trabajo de contracción dinámica con más de un 50% de la fuerza máxima estática, es decir, con un esfuerzo estático más fuerte. Debido a la compresión capilar la energía sólo es producida anaeróbiamente; por ejemplo, al coger y levantar pesas. En la fisioterapia las técnicas “parada en el porcentaje de la fuerza máxima” y “movimiento y parada” utilizan la resistencia anaeróbica local estática, como en la ejercitación de agarre con los músculos de los brazos o al tirar o sostener gomas elásticas, al apoyar con fuerza un pie en el suelo y al oponer resistencias físicas manuales propias o externas. Este trabajo anaeróbico estático conduce a unas *reacciones cardiopulmonares* ascendentes. En el entrenamiento muscular estático se señaló el precedente de la presión. Los resultados se muestran en la presión sanguínea y en la frecuencia cardíaca así como en las presiones sistólica y diastólica. Esto lleva a un sobreesfuerzo



del músculo cardíaco. La figura 1. 24 nos muestra el comportamiento de la sangre en reposo y en tres diferentes tipos de paradas de varios minutos, esto es en el *handgrip* (cierre del puño), en la haltera y en el fortalecedor. A la izquierda se representa el intervalo de la presión sanguínea (120/90 mmHg), con el cual se relaciona una baja frecuencia cardíaca; en el *handgrip* el intervalo de la presión se amplía a valores de 150/95 mmHg, y la frecuencia cardíaca aumenta; en la haltera la presión sanguínea sigue subiendo, y el intervalo se amplía aún más; en el fortalecedor la presión de la sangre alcanza incluso los 220/120 mmHg (Rost 1979). "Las personas con disfunciones cardíacas no deben realizar un entrenamiento muscular estático superior a 5-7 segundos. Después de una pausa se puede llevar a cabo el entrenamiento con otro grupo muscular sin el peligro de daño cardíaco" (Hollmann y Hettinger 1980).

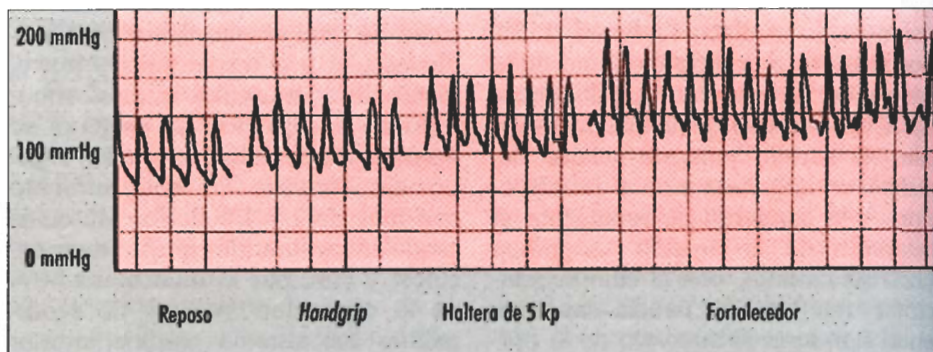
### **Efectos del entrenamiento deportivo sobre la resistencia general aeróbia**

La resistencia general se refiere al rendimiento de resistencia de grandes grupos de músculos, por ejemplo ambas piernas, un brazo con partes de los músculos del tronco o de todo el cuerpo. Se divide en resistencia general aeróbia y resistencia general anaeróbia y en sus subgrupos (Figura 1.20). Para la fisioterapia y el deporte de rehabilitación sólo tiene significación la *resistencia general aeróbia dinámica*. Es un modo de esfuerzo que se decide sobre todo por la capa-

cidad de rendimiento del sistema cardiovascular y el respiratorio, y por el metabolismo muscular, esto es, sobre todo en la captación de oxígeno, su transporte y su utilización en los órganos a su servicio. Un entrenamiento con más de 1/7-1/6 de los músculos esqueléticos (grandes grupos de músculos) y con, por lo menos, un 50% de la capacidad máxima de rendimiento del sistema cardiopulmonar por encima de al menos 10 minutos es por ello un entrenamiento cardiorrespiratorio con efectos sobre el cambio metabólico periférico, es decir en la resistencia muscular aeróbia local dinámica.

Para entender los efectos sobre la circulación hay que conocer los cambios de algunos parámetros de la circulación sanguínea. El trabajo corporal modifica los siguientes parámetros:

- La frecuencia cardíaca aumenta proporcionalmente a la intensidad de esfuerzo y con ello aumenta igualmente el consumo de oxígeno.
- El volumen minuto cardíaco está en relación lineal con el consumo de oxígeno, donde el volumen latido alcanza un valor de unos 110 ml, lo que quiere decir que va creciendo más o menos uniformemente hasta una frecuencia cardíaca de unos 120 lat./min, para luego descender un poco y permanecer en un valor constante. Por ello el aumento del volumen minuto cardíaco es sólo posible mediante el aumento de la FC hasta un valor límite.
- La presión arterial media sube moderadamente, mientras que la



**Figura 1.24:** Registro de la presión sanguínea intraarterial en reposo, en el handgrip, con parada parcial con una haltera de 5 kp y en el esfuerzo con un fortalecedor. La propia contracción estática de estos grupos de músculos provoca una clara reacción en la presión sanguínea (de Rost y Hollmann).

presión sistólica aumenta considerablemente y la presión diastólica lo hace moderadamente, el intervalo de la presión sanguínea se amplía.

- La resistencia periférica disminuye como señal de la apertura de los vasos.
- La diferencia arteriovenosa de oxígeno aumenta como señal de la creciente utilización periférica del oxígeno.

Aparte de estos parámetros, el trabajo corporal modifica el volumen minuto respiratorio y, un importante parámetro metabólico, el nivel de ácido láctico. En una representación esquemática (figura 1.25) se puede ver la importante variación de los parámetros de la circulación, la respiración y el metabolismo en *personas entrenadas en resistencia* y en *personas no entrenadas en la resistencia*.

Como importante "criterio en bruto" de la capacidad de rendimiento sirve la captación máxima de oxí-

geno. Por ello se entiende la cantidad de oxígeno captada a un rendimiento máximo durante un minuto. La *captación de oxígeno* se incrementa linealmente con la intensidad del esfuerzo. Esto es general tanto para los desentrenados como para los entrenados cuando ambos están bajo los efectos del mismo esfuerzo, sólo que el que está entrenado alcanza mayores valores en el metabolismo, esto es, puede producir un mayor rendimiento. El desentrenado interrumpe su esfuerzo en aproximadamente los 200 vatios (Figura 1.25), en donde ya ha alcanzado su rendimiento máximo. El entrenado tiene una mayor capacidad de captación máxima de oxígeno, es decir, una capacidad aeróbica mayor, y rinde más. El volumen minuto respiratorio, que se compone de volumen inspiratorio y frecuencia respiratoria, es, con un mismo esfuerzo, más bajo en los entrenados que en los desentrenados. Ésta es una señal del escaso impulso de la respiración, que es el resultado de un escaso

grado de hiperacidez, es decir, el comportamiento del volumen minuto respiratorio por corre paralelo a la subida del ácido láctico, que sin embargo no representa el estímulo de respiración directa. El mecanismo del estímulo de respiración aún no está suficientemente claro. A pesar de ello, sirve la siguiente afirmación: cuanto más acidez, mayor es la ventilación. Puesto que el entrenado para el mismo rendimiento produce menos ácido láctico que el desentrenado, respira con mayor economía y su volumen minuto respiratorio permanece más bajo que el del desentrenado. La mejora del rendimiento de la resistencia se muestra —como se ha señalado antes— con una reducción del nivel del ácido láctico del entrenado y un aumento del valor del pH. La influencia más conocida en el entrenamiento de resistencia es la disminución de la frecuencia cardíaca en reposo y en periodo de esfuerzo, así como la mayor capacidad de recuperación después de un trabajo corporal. La frecuencia cardíaca en reposo de una persona normal entrenada en resistencia está, como media, entre los 50 y 60 lat./min; en el deportista de alta competición se miden valores por debajo de los 30 lat./min. En la figura 1.25 se representan las frecuencias cardíacas en esfuerzo más bajas. La frecuencia cardíaca baja es la expresión de la vagotonía de los entrenados en resistencia. En el deportista de competición una baja FC es señal del llamado corazón de deportista (mayores cavidades y cantidades de sangre residual) y de la vagotonía. El corazón grande trabaja con un gran

volumen de latidos. Por ello la circulación sanguínea periférica aumenta y el estímulo simpático de allí proveniente resulta en un favorecimiento de la vagotonía.

Los efectos del entrenamiento mediante el entrenamiento de resistencia se efectúan, según Hollmann y Hettinger (1980), siguiendo dos etapas de adaptación, que clarifican aún más la diferencia de los efectos en personas normales entrenadas en resistencia y en deportistas de elite entrenados en resistencia:

1. *Etapas de adaptación* = Estadio de la adaptación funcional, que no abandona el deportista de competición. Afecta al sistema nervioso vegetativo, la hemodinámica y el metabolismo celular. La adaptación vegetativa ocurre en dirección a una situación de reacción trofotrópica (vagotonía), en relación con un estímulo simpático reducido. Las adaptaciones hemodinámicas se observan en el corazón en una creciente duración sistólica y diastólica con un aumento del volumen de latidos, el corazón trabaja más económicamente con una demanda menor de oxígeno. En la circulación periférica se observan adaptaciones de la resistencia muscular aerobia local (capilarización, poco consumo de  $O_2$  seguido de una óptima coordinación, aumento de las enzimas mitocondriales, aumento de la diferencia arteriovenosa local de oxígeno). Sobre todo al comienzo del entrenamiento, esto es, en las primeras semanas, son decisivos los

mecanismos de adaptación en sus efectos retroactivos sobre el corazón. La discusión de si hay siquiera efectos de entrenamiento centrales en el propio corazón está aún por ver. Esta etapa tiene una gran significación para la salud.

2. *Etapa de adaptación* = Estadio de la adaptación dimensional, que sólo alcanzan los deportistas de alta competición a través de un entrenamiento intensivo. Afecta "en particular a un incremento del volumen del corazón por encima de un 10% del valor inicial normal (formación del corazón de deportista), un aumento relacionado de la cantidad total de hemoglobina, del volumen máximo de latidos, del volumen de sangre, de la utilización máxima periférica de oxígeno, y, en menor grado, de la capacidad de difusión" y otros (Hollmann y Hettinger 1980).

### **Ejemplos para el entrenamiento de la resistencia general aerobia en los desentrenados sanos**

Son significativos para el tratamiento fisioterapéutico los conocimientos sobre los modos de entrenamiento recomendados por los cardiólogos y médicos deportivos para el llamado entrenamiento de circulación en el rendimiento de resistencia deportiva. Esto significa, en particular, correr, montar en bicicleta, nadar y desarrollos de movimientos, es decir, los efectuados por grandes grupos musculares con un esfuerzo muscular dinámico. Como forma más

sencilla para la resistencia general aerobia sirve hoy, para personas normales desentrenadas, el método de resistencia. Si una persona sana y capacitada entrena por término medio durante 10 minutos con una intensidad del esfuerzo de al menos el 50% de su capacidad de rendimiento cardiopulmonar máximo con el método de resistencia, después de algunas semanas aparecerán los efectos del entrenamiento antes descritos. El criterio principal para la práctica de un esfuerzo de entrenamiento efectivo es la frecuencia cardíaca. Se calcula para el método de resistencia a partir de la fórmula: frecuencia cardíaca = 180 menos la edad. Esta intensidad del estímulo corresponde al límite de resistencia en el metabolismo muscular, esto es, el umbral aerobio-anaerobio. Puesto que después del comienzo del esfuerzo el nivel del ácido láctico en la sangre permanece en 3-4 mmol/l y el trabajo de resistencia puede ser efectuado de manera aerobia.

Para el entrenamiento de la resistencia o de la circulación, la práctica deportiva propone el entrenamiento extensivo interválico. Pero esto es más fatigoso que el método de resistencia.

*Ejemplo:* Carrera de una mujer de 50 años siguiendo el método de resistencia:

- intensidad del estímulo: carrera con una frecuencia cardíaca de 130 lat./min (calculado según la fórmula 180 menos la edad).
- Duración del estímulo y volumen del estímulo: comenzar con cinco minutos y luego aumentar paulatinamente hasta 10 minutos y más.



El entrenamiento con el método de resistencia empieza con una alternancia entre correr y andar hasta que es posible un rendimiento continuado de resistencia de 10 a 30 minutos.

*Ejemplo:* Carrera de un hombre de 30 años siguiendo el método interválico extensivo:

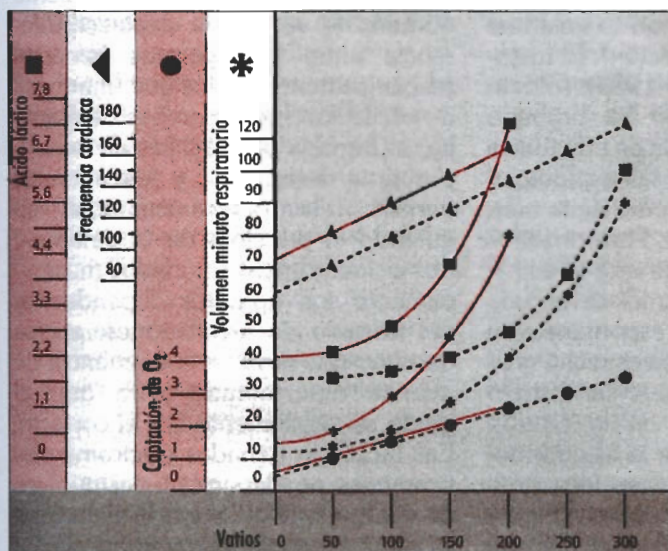
- intensidad del estímulo: carrera con una frecuencia cardíaca de 160 lat./min = 60% del rendimiento cardiovascular máximo (porcentaje calculado de la suma de FC en reposo, 70 lat./min, y la FC máxima, 200 lat./min),
- duración del estímulo: 60 segundos (pausa de esfuerzo),
- duración de la pausa: 30 segundos (intervalo),
- densidad del estímulo: alta, puesto que la pausa es más corta,

- volumen del estímulo: 8 a 9 minutos en 6 carreras y 51 intervalos.

En los niños se entrena la resistencia general aeróbica y con ella la circulación con los mismos principios. El entrenamiento se introduce en los diferentes juegos, carreras y en el entrenamiento en circuito.

### 1.3.6. Con respecto a la medición del rendimiento

Para el conocimiento exacto de la capacidad de rendimiento corporal se exige en la medicina clínica, en la deportiva y en la laboral que los esfuerzos sean exactamente reproducibles y definibles. Para la fisioterapia es importante que abunden los métodos de control de medidas de magni-



**Figura 1.25:**

*Modificaciones de algunos parámetros respiratorios, circulatorios y metabólicos en personas desentrenadas (línea continua) y personas entrenadas (línea discontinua) durante un esfuerzo creciente en el cicloergómetro (de Hollmann).*

tudes o exámenes funcionales para quienes están en estrecha relación con el entrenamiento. Estos métodos son la dinamometría, como método para la medición de la fuerza estática, y el cicloergómetro como un test cuantitativo de evaluación cardíaca y circulatoria.

Los aparatos más utilizados para la medición de la fuerza son los dinamómetros. Éstos miden sólo la fuerza máxima existente de manera espontánea en una determinada posición corporal (postura articular), que no es idéntica a la fuerza absoluta de un músculo. Esto último está en relación lineal con el perfil del músculo y sólo puede calcularse de una manera biomecánica, es decir teniendo en cuenta el hecho de que los puntos de carga de los músculos se mueven en palanca y por ello se transforman continuamente las secciones musculares con los movimientos angulares. Además, la fuerza utilizada en el dinamómetro está muy relacionada con su voluntad de rendimiento (motivación). El método es, según Hettinger (1983), sólo un objetivo a medias. Se ha probado para evaluaciones relativas a la fuerza máxima y también en las exploraciones sobre el entrenamiento de la fuerza estática (isométrica). Para nosotros sigue siendo interesante que la actividad eléctrica que se produce en una contracción muscular espontánea en un músculo muestre una estrecha relación con el esfuerzo muscular. Esto lo muestra la medición de la tensión muscular por medio de la electromiografía (EMG) durante la tensión estática del m. interóseo dorsal (Figura 1.26). Llama la atención que sólo con

el concepto de la tensión se llegue al aumento del potencial eléctrico.

Para la apreciación de las capacidades cardiovasculares se utiliza el cicloergómetro en clínicas, centros de rehabilitación o en casa para el entrenamiento con un objetivo.

Con respecto al llamado entrenamiento ergométrico, una pequeña introducción: rendimiento significa trabajo físico por hora. Se determina durante el trabajo en cicloergómetro en vatios. El vatio es la unidad para el rendimiento y abarca con ello el trabajo (fuerza por espacio) y el tiempo. En el cicloergómetro la fuerza es la oposición contra la que se tiene que actuar, mientras que el camino se determina por el número de vueltas por minuto que hay que hacer, es decir, en un determinado tiempo. En una serie de bicicleta la fuerza realizada se da en kilopondios, que multiplicados por la frecuencia de avance por minuto, nos da el correspondiente número de vatios. Se establece diferencia entre los aparatos frenados mecánicamente, en los que una masa de oscilación (por lo menos de nueve kg) es frenada por pastillas de freno o por tiras deslizantes, y los aparatos frenados electromecánicamente —siguiendo el principio de la dinamo—. Los cicloergómetros frenados mecánicamente son aparatos dependientes del número de revoluciones, en los que hay que llevar una frecuencia de avance determinada para que el grado de rendimiento sea el correcto. Las bicicletas frenadas electromagnéticamente no dependen del número de vueltas, esto es, el grado de esfuerzo sigue siendo el correcto aunque la

persona se desvíe en la frecuencia de avance. Un efecto novedoso es el de las bicicletas llevadas por ordenador en las que una calculadora, después de haberle introducido los datos personales (edad, peso), proporciona la intensidad del esfuerzo indicada en vatios con la susodicha frecuencia del entrenamiento. La oposición o resistencia física se determina electrónicamente. Los controles luminosos señalan si se alcanza la frecuencia cardíaca de entrenamiento o no.

*Ejemplo:* bicicleta en una mujer de 60 años en el cicloergómetro (peso 70 kg) siguiendo el método de resistencia:

- intensidad del estímulo: pedalear con una frecuencia cardíaca de 120 lat./min, en un grado de rendimiento de 75 vatios (calculado de la fórmula 180 menos la edad),
- duración y densidad del estímulo: 10 minutos.

Después de dos a tres semanas de un entrenamiento casi diario, aumentar la densidad del estímulo a 15 minutos o subir el nivel a 100 vatios. El efecto del entrenamiento se muestra en cuatro a cinco semanas; cuando la persona está más capacitada para la resistencia, se acorta el tiempo de recuperación, y la frecuencia cardíaca bajo el esfuerzo no sube tanto como al principio. Las cambiantes cantidades de medición descritas en la Figura 1.25 son sólo posibles en la prueba de esfuerzo realizada en el laboratorio.

El entrenamiento de la resistencia general aerobia se define también en medicina como entrenamiento de la

circulación. Si un paciente debe entrenarse en el ergómetro, el médico informa sobre los vatios y la frecuencia cardíaca del entrenamiento que se tiene que alcanzar en este nivel.

Para el traspaso de los datos averiguados en el test de rendimiento en el ergómetro a otros datos de esfuerzo se tiene que saber que en la bicicleta el cuerpo se apoya en el sillín. Por eso en todas las personas –independientemente del peso corporal– la captación de oxígeno es, para cada nivel de vatios, la misma. Si el paciente tiene que mejorar su rendimiento, por ejemplo andando o corriendo, se tiene que transferir el rendimiento físico alcanzado sobre la bicicleta bajo la consideración del peso corporal en la práctica. Pero no es decisivo el rendimiento definido físicamente, sino el definido biológicamente, es decir el volumen metabólico exigido para un esfuerzo corporal y el expresado mediante la captación de oxígeno.

El cálculo del rendimiento del ergómetro proporcionado en vatios en el ámbito energético puede ser el resultado del conocimiento de la captación de oxígeno sobre el rendimiento en vatios teniendo en cuenta el peso del que se entrena. En este cálculo no es necesario tener en cuenta el grado mecánico de efectividad.

Para evaluar el esfuerzo energético de enfermos y para entender la escásima capacidad de esfuerzo de algunos pacientes con limitaciones cardiopulmonares y vasculares, se han tomado de la literatura algunas tablas en relación con el rendimiento físico y biológico de diferentes actividades en las personas (Tablas 1.2 y 1.3).

### 1.3.7. Consideración final

Finalmente hay que señalar que las preguntas hechas en un principio se responden con este ensayo, pues está demostrado que el principio de los conocimientos científicos de la medicina laboral y deportiva, y de las formas de movimiento, y los principios de entrenamiento del deporte están más claros que hasta ahora en la terminología fisioterapéutica, asumiendo la división de sus técnicas para el aprendizaje y la clarificación de algunos mecanismos de efecto en el organismo.

## 1.4. FUNCIÓN

“La belleza es el resultado de la configuración y la relación de un todo

con las diferentes partes, de las partes entre sí y de éstas otra vez con el todo”. Andrea Palladio (1508-1580).

De este pasaje se saca la conclusión de que la función es el tema central de la existencia humana y al mismo tiempo representa el objetivo de tratamiento más importante en la actividad fisioterapéutica. El estímulo y la reacción que se le opone son los conceptos más importantes para el entendimiento del efecto del trabajo fisioterapéutico.

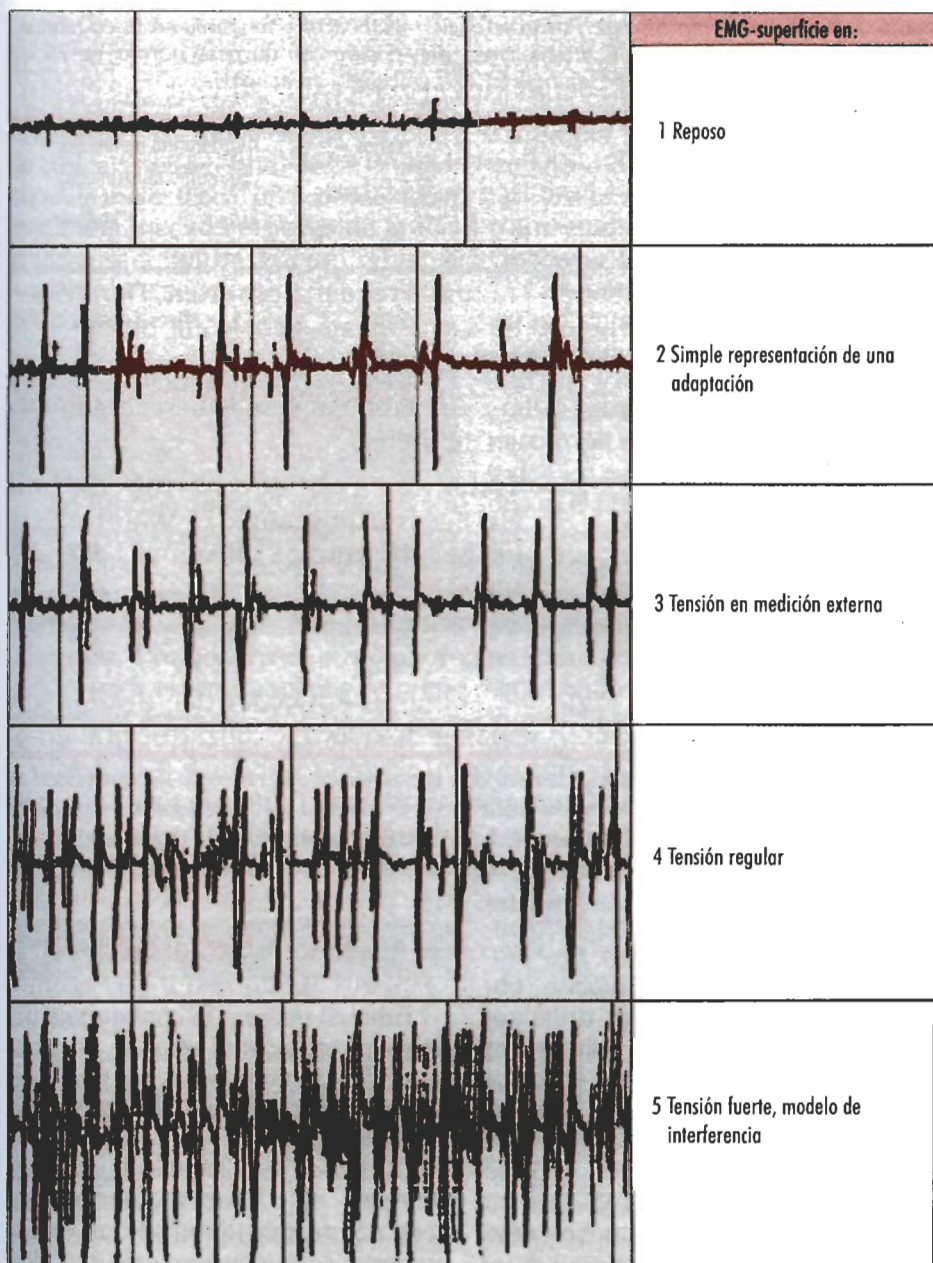
Se debe evitar una definición del concepto “función” por la que el lector vea las bases de la fisioterapia o sólo muy mecánicas o sólo expresadas de manera energético-bioquímica. Esto no concordaría con el carácter especial y la pretensión del tratamiento fisioterapéutico, el cual

**Tabla 1.2:** Rendimiento físico (vatios) y rendimiento biológico (transferencia metabólica) al andar y al correr en el ejemplo de un hombre de 70 kg (tomado de Schader, Pronnet, y Kaizinger, en Teichmann 1980; Spitzer y Hettinger 1969; Rost 1980).

Pasos min	Velocidad km/h	Descripción	Cicloergómetro vatios	Transferencia metabólica* (consumo aproximado)	
				kJ/min	kcal/min
<b>Marcha</b>					
60	Aprox. 1,6	muy despacio	10 - 15	4,2	1,0
80	Aprox. 2,8	despacio	25	6,3	1,5
100	Aprox. 3,6	normal	50	12,6	3,0
120	Aprox. 4,5	rápido	75	18,8	4,5
<b>Carrera</b>					
140	Aprox. 5,5	trotando	100	29,3	7,0
150	Aprox. 7,0	resistencia	125	31,4	7,5

\* Transferencia de esfuerzo, es decir, restando la básica.





**Figura 1.26:** Electromiografía de superficie en tensión estática creciente (*m. interóseo dorsal 1*) (de Laurig y Rohmert).

**Tabla 1.3:** Rendimiento biológico (transferencia metabólica) y rendimiento físico (vatios) en diferentes actividades básicas y deportivas, en relación con un peso normal de 70 kg (julios / calorías según Spitzer y Hettinger [1969] calculado en vatios\*).

Actividades	Vatios	Transferencia metabólica* (consumo aproximado)	
		kJ/min	kcal/min
<b>Actividades</b>			
Comer sentado	5-10	2,1	0,5
Vestirse, desvestirse, lavarse	35-10	8,4	2,0
Conducir un coche	10-20	4,2	1,0
Hacer las camas	60-70	16,8	4,0
Barrer	60	14,7	3,5
Limpiar ventanas	60	12,6	3,0
<b>Actividades deportivas</b>			
Correr 9 km/h en llano	165	41,9	10,0
Jugar al voleibol	120	30,6	7,3
Nadar a braza, 20 m/min	75	18,8	4,5
Crol, 41 m/min	190	48,1	11,5
Gimnasia en adultos (según intensidad del ejercicio)	60-130	15,5-32,2	3,7-7,7

\* La conversión de julios o cantidad de calorías a vatios resulta de la base de una necesidad de oxígeno de 1.000 ml para la liberación de 21 julios (5 calorías) y la necesidad máxima de 12 ml O<sub>2</sub> por vatio logrado. Los julios o cantidad de calorías se refieren a la necesidad máxima causada por el rendimiento, que se desprende del metabolismo básico (Rost, no publicado).

se puede resumir como una “referencia de ayuda” (Sennewald). La “función” del ser humano precisa por ello, para adaptarse a su singularidad, un modo de trabajo y de pensar interdisciplinario. Todos los trabajos y exposiciones de este tomo, y de los siguientes, deben ser entendidos sin duda como adaptados a este núcleo básico. Sólo con esta toma de conciencia y el propio conocimiento propio, el fisioterapeuta se convertirá en un buen administrador de tratamientos.

### 1.4.1. Definición

Función designa lo continuo de un objetivo total que está al servicio de un funcionamiento combinado de procesos y actos, individuales o relacionados entre sí.

Dentro de las diversas áreas disciplinarias, el concepto “función” se apoya en diferentes contenidos, incluido aquel cuyo conocimiento es valorado por el fisioterapeuta. Por eso existe un gran número de definicio-

nes: Función significa a) *en general*: actividad, resultado, fin, misión; b) *filosóficamente*: dependencia recíproca de actos, sucesos y conceptos; c) *en la biología*: rendimiento de un órgano; d) *en la matemática*: una coordinación entre dos medidas a través de la fórmula  $y = f(x)$ , en la que "x" es la variable independiente e "y", la variable dependiente.

### 1.4.2. Condiciones previas y requisitos para la función

La función se fundamenta en las leyes y cualidades naturales. Ha sido representada de manera escueta a través de fórmulas y ecuaciones y a partir de ellas se han formulado los teoremas. Los conceptos más importantes para el fisioterapeuta se originan en las áreas de:

- la física (fundamentalmente la mecánica),
- la biología,
- la cibernética.

La función del ser humano está sujeta, dentro de la física:

- a las leyes de la estática (aprendizaje del equilibrio de todas las fuerzas),
- a la cinemática (aprendizaje de las posibilidades de movimiento),
- a la dinámica (aprendizaje de la naturaleza de la actuación de las fuerzas).

Éste no es el lugar adecuado para descender a más detalle. Las peculiaridades más destacables se encuentran en la página 18 y siguientes.

Junto con las leyes físicas, la función depende de una agrupación de cantidades y transferencias de energía. La propia fuerza corporal (biológica) mantiene en marcha todas las funciones vitales (ver también "rendimiento y aumento del rendimiento", así como "fisiología").

Las fuerzas mecánicas y biológicas no son sin embargo el criterio decisivo de esto que, dentro de la excepcionalidad de los seres vivos, designa las capacidades funcionales y de rendimiento del ser humano: el principio de todos los seres vivos más evolucionados es el principio de la comunicación. Esto presupone unas capacidades altamente desarrolladas e integradas en sí mismas, además de una motricidad muy diferenciada. Mediante la comunicación podemos expresar nuestros sentimientos y nuestros anhelos, hacerlo posible mediante los gestos, el lenguaje y el comportamiento, así como dar respuesta a las exigencias actuales de nuestro entorno. Los principios sobre esto son iguales para todos los hombres. La diferenciación de cada uno de los sistemas orgánicos y de los mecanismos crea la individualidad.

Cada actividad y manifestación nuestra se interpreta como una reacción o como una análisis de los estímulos que nos llegan desde la esfera perceptible y se asimilan. Por lo tanto, función es la expresión de la información utilizada.

Los conceptos de "comunicación" e "información" aquí introducidos son parámetros fundamentales del ámbito de trabajo de la *cibernética*. Los modelos cibernéticos nos dan la oportunidad de analizar mejor la función.

### 1.4.3. Función como concepto cibernético

La cibernética es la ciencia de sistemas dinámicos creada y denominada así en 1948 por N. Wiener, cuyos elementos particulares están en una relación funcional entre sí y con la totalidad y pueden reaccionar a influencias exteriores al sistema. Inicia en un primer momento procesos de control y regulación sacados de la realidad técnica y natural o construye para ello analogías abstractas. Ya en 1925, R. Wagner reconocía que también en los sistemas biológicos el principio de la regulación tenía un significado. Entretanto se sabe que todas las principales funciones espontáneas se rigen por este principio. El objetivo y la tendencia son el mantenimiento de un estado de equilibrio dentro del sistema, así como la compensación de las influencias que vengan de fuera. Para ello es necesario un circuito regulador (acoplado en reacción). En el pensamiento médico y en las bases de la fisioterapia la utilización de este concepto ha sido tímidamente introducida Keidel (1979), Caspers (1975), Haeusermann (1975,1976), y Stoboy (1976).

#### Rasgos principales de un sistema de circuito regulador

De la base matemática y de la teoría de información estadística se saca la conclusión de que toda la información proveniente del exterior (incluidos también los estímulos provocados por un fisioterapeuta) se examinará siguiendo su contenido. Esto es el

principio de afirmación-negación. La información comprobada se introduce en un circuito interno de señales preparadas (comparar los valores reales con los teóricos) y modifica las magnitudes alteradas con los impulsos adquiridos: la antena registra las modificaciones y pasa esta información a instancias más altas. Éstas responden a la alteración mediante cambios cuantitativos o modificaciones de las señales de aquéllas, cambios que salen como orden a la periferia y desde allí hacia el exterior (Figura 1.27). Pero también se puede producir que eviten o revisen el efecto de la alteración. El circuito se ha cerrado. Como ejemplo típico de un proceso regulador puede servir la regulación de la temperatura (Figura 1.28).

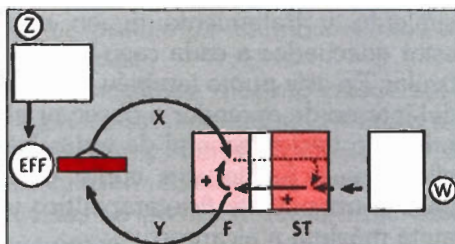
El sistema del circuito de regulación se depura gracias a las modificaciones. Las más importantes son: a) los circuitos reguladores retroactivos y b) la integración de los estímulos según el principio de divergencia-convergencia.

El circuito de regulación retroactivo saca una parte de la información introducida del circuito de regulación y la somete a una comprobación. Esta información se vuelve a introducir en forma de señal con un pequeño retraso en el circuito de regulación (condicionada por la actividad de las sinapsis), después de lo cual se decide sobre el equilibrio del comportamiento entre la información y la respuesta en éste (impulso = aferencia). Por lo tanto, se da una copia del proceso original que posibilita, en diferentes etapas del sistema, rápidas correcciones internas de la decisión.



El principio de convergencia-divergencia es el origen de la elaboración de la información sin centralizar y circunstancial en el sector sensorial. Éste hace el efecto, por así decirlo, de un autocontrol que va pasando la información de manera reforzada o comprimida, con lo que ejerce una función protectora. El principio: el recorrido receptor-sinapsis no es unipolar; con cada receptor hay una gran cantidad de células nerviosas relacionadas con el estrato más próximo (divergencia); por otra parte, cada célula sináptica contiene una cantidad de fibras presinápticas de diferentes receptores (convergencia). Encontramos por lo tanto una elaboración y transmisión informativa en forma de cono (Figura 1.29). El tipo, la serie y la duración del impulso se ocupan de las distintas maneras de “hablar” de la sinapsis con la señal. Por ese complicado camino se nos hacen comprensibles las diferentes respuestas a nuestros estímulos. Muchas veces se ha descrito más o menos vagamente este fenómeno como un cambio del umbral del estímulo o situación inicial diferenciada. Es un sistema selectivo de influencias inhibitorias y allanadas en relación con una comprobación informativa dirigida por un circuito regulador.

**Figura 1.27:** Representación esquemática de un circuito regulador (de la instrucción DIN 19226). Z = cantidad de alteración, W = cantidad de conducción F = antena, St = puesto de enclavamiento, X = magnitud regulada, Y = magnitud de ajuste, EFF = efector (tramo de regulación).

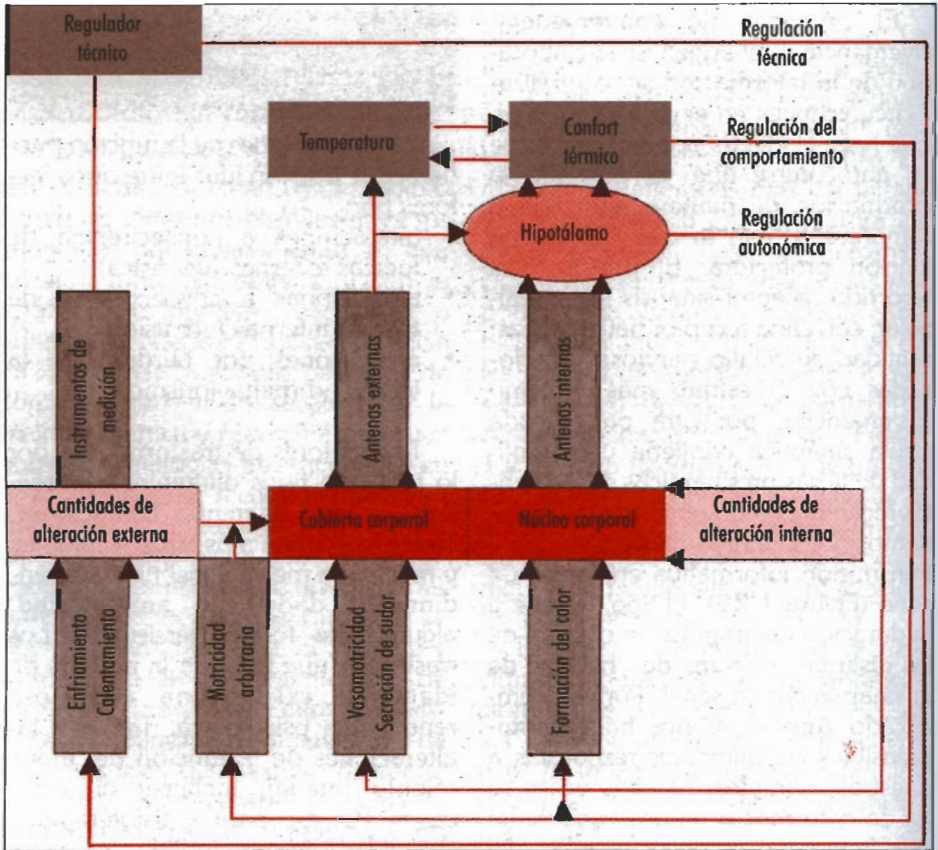


### 1.4.4. Alteraciones de la función

Las alteraciones de la función pueden estar ocasionadas entre otros factores por:

- alteraciones a consecuencia de fuerzas externas (ver física),
- alteraciones a consecuencia de fuerzas internas (ver fisiología),
- alteraciones por pérdida de la identidad (behaviorismo).

Los factores de trastorno son por lo tanto de tipos diferentes y proceden de muy diferentes condiciones. Todos conducen más tarde a cambios y muchos a mermas del nivel de rendimiento dado con anterioridad, algunos de forma persistente. Los trastornos que llevan a la pérdida de identidad exigen una minuciosa renovación psicológica. También las alteraciones de la función del movimiento pueden incluirse en estos casos. Por eso para el fisioterapeuta son útiles e imprescindibles los conocimientos básicos de psicología. El fisioterapeuta actúa de manera deficiente si –dentro de los límites de sus conocimientos y capacidades– no ayuda a reconocer y eliminar los elementos básicos de un trastorno fun-



**Figura 1.28:** Regulación en el ejemplo de la regulación de la temperatura humana (de Hensel).

cional y sus frecuentes consecuencias latentes. Los caminos para el reconocimiento y tratamiento tienen que estar adecuados a cada caso en particular. En este punto también se trata del intento de aprender a observar el principio básico general de todas las alteraciones funcionales como guía para el tratamiento fisioterapéutico y meta máxima a alcanzar.

#### 1.4.5. Aprendizaje de la función

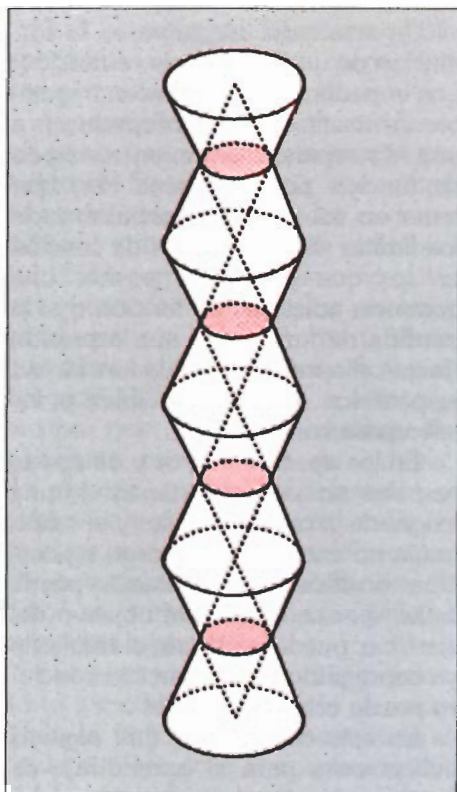
A los anteriormente citados requisitos les siguen, a modo de bosquejo, los métodos para la reflexión en el tratamiento fisioterapéutico desde el punto de vista del aprendizaje de la función: dado que el trastorno funcional puede ser puesto a la misma alu-

**Figura 1.29:** Esquema del principio de convergencia y divergencia en la elaboración de la información (de Mountcastle y Keidel).

ra que la alteración del sistema del circuito regulador, entonces la conducción del aprendizaje de la función es la restauración a su nivel inicial del equilibrio dentro del circuito regulador.

El objetivo de cada formación de la función es la ejercitación de ésta, es decir, su utilización. El valor de utilización es —como en la arquitectura— idéntico a una limitada solución económica funcional. La economía se alcanza mediante el aprovechamiento de los mejores valores funcionales y con el respeto a todos los límites funcionales de cada elemento de un organismo o de una estructura corporal. El ejercicio de la función (utilización) representa un estímulo adecuado para las mejoras de las funciones. Son el objetivo en el tratamiento de la fisioterapia, cuando la función económica condicionada por la enfermedad aún no se ha alcanzado. Como métodos se dispone de: 1. el ejercicio, 2. el entrenamiento. El *ejercicio* lo interpretamos como la repetición de desarrollos funcionales coordinados sin agregarles dificultad por medio de una acción de fuerza o más exigencias en la resistencia. El *entrenamiento* es la práctica de los requisitos con más dificultades.

Los desarrollos funcionales y la coordinación se aprenden mediante la práctica del rendimiento de los movimientos y de las posturas. La habilidad es un objetivo para la llamada motricidad selecta. La destreza es la expresión del rendimiento funcional de grandes series musculares bajo la



inclusión de los componentes de habilidad. La fuerza es entrenable; se produce una mejora de la capacidad de contracción del músculo. La resistencia es igualmente un resultado del entrenamiento relacionado sobre todo con el corazón y la circulación.

*El resultado óptimo de un aprendizaje de una función es la mayor economía posible de los movimientos o actividades.*

Un resultado *máximo* puede ser, según las circunstancias, idéntico a la adaptación y el ajuste a un bajo nivel de función cuando las condiciones previas no permiten que el resultado sea óptimo.



Un resultado *aceptable* es la formación de una función de restitución. Los impedimentos que hacen imposible un resultado óptimo conducen a una discrepancia entre un resultado de función posible y real. Hay que tener en cuenta si se han alcanzado los límites de los campos de función en los que ya no es posible una ganancia adicional de función o si la pérdida de función es una expresión de que el aprendizaje de la función no respeta los límites asequibles y los sobrepasa con violencia.

En los aparatos motor y de apoyo hay dos señales importantes de una exigencia excesiva, el dolor y el calentamiento excesivo incluso en reposo. Una dosificación defectuosa puede evitar que se alcance el objetivo del ejercicio, puede relativizar el resultado ya conseguido de un ejercicio o incluso puede echarlo a perder.

En este contexto se dan algunas indicaciones para el aprendizaje de función: Los conocimientos de las condiciones previas anatómicas, los transcurso de función y los límites de función son condiciones previas para saber lo que se puede y debe practicar. Lo que no se puede aprender no se debe practicar.

Las condiciones anatómicas variadas y las modificaciones de las capacidades de función limitan los resultados alcanzables del ejercicio.

Los trastornos de función se deben tratar siguiendo la siguiente progresión: Descanso para la recuperación-fase de la ganancia de movimiento-fase de la ganancia de fuerza-ganancia en habilidad.

En la valoración de la forma de

ejercicio predomina lo activo sobre lo pasivo. Una guía psicológica es incluso más importante que una guía mecánica. El valor de empleo del todo es más importante que las acciones independientes de una parte.

**Consecuencia:** la función se puede exponer de la forma más clara posible gracias al modo de pensar cibernético como un circuito regulador invariable. Igualmente el tratamiento es el del trastorno de ese circuito regulador, aunque con el objetivo de que, a través de señales, se cree un impulso nuevo y modificado con un efecto reconocible. Se alcanza el objetivo del tratamiento cuando queda montado el nuevo circuito regulador. Siguiendo el resultado de la posible curación, el circuito se ha completado cuando ya no es comparable, ni siquiera en parte, con el circuito regulador que sirvió de punto de partida para el tratamiento.

La salud es, bajo este aspecto, el engranaje invariable de todos los procesos de regulación vital.

### 1.4.6. Función e identidad

En la actividad, y por importantes motivos físicos y fisiológicos que indudablemente condicionan la función y que son indispensables para el entendimiento del tratamiento fisioterapéutico, se cae en el peligro de entrar sólo en consideraciones puramente científicas. Tampoco el modo de pensar cibernético, a pesar de su unión entre técnica biología, sociología y psicología, está libre de la reducción sistemática, sobre todo porque se basa en las



matemáticas. Considerada desde un punto de vista matemático, la función se deja representar como una fórmula  $y = f(x)$ , donde cada comprobación se mantiene firme aunque se den trastornos de función u otros términos derivados (para más información véase Haeusermann 1976). Pero ¿se juzga con ello a los seres humanos en la suma de sus capacidades y disposiciones? El tratamiento ¿es sólo un proceso de reparación para funciones alteradas?

¿Por qué el paciente se queja de una función alterada, perdida o anulada? Él no puede más. Necesita la ayuda de otros. No es capaz de expresar sus propios deseos, pues ya no está en sus plenas facultades. Esto hace que podamos entender la observación de reacciones erróneas en los pacientes (agresiones, apatía, depresión reactiva).

Los trastornos de la función tienen como consecuencia la pérdida de identidad.

Es decir: La identidad es el desarrollo de la personalidad con todas sus capacidades en cualquier situación. Es la afirmación de la propia personalidad y su forma de expresión. Buytendijk (1956) ha realizado exposiciones sobre la forma de expresión del hombre; nos llama la atención sobre ello. También Feldenkreis (1978) apoyó la relación de cambio de identidad-función para el distintivo esencial del cumplimiento de las posibilidades del ser humano y elige el término "conciencia" para el encuentro de la identidad; "donde ésta está completa, impera el poder armónico sobre las actividades corpóreas".

Las pérdidas de función no sólo aparecen en el ámbito corporal o como una forma reactiva de éste.

Es complicado para los médicos, así como para los que realizan el tratamiento fisioterapéutico, ese grupo de pacientes que buscan los orígenes del trastorno de función en el ámbito somático, pero no pueden o no quieren reconocer sus propios motivos parasomáticos. Una gran parte de lo que antes se denominaban molestias "vegetativas" pertenecen a ellos, lo mismo que un gran número de pacientes con dolores de cabeza, de espalda, trastornos del sueño y otros muchos más. Es recomendable, en estos casos de verbalización sospechosa, estar atento a los trasfondos de dolor no somáticos y a las señales corpóreas espirituales.

Los trastornos de función pueden llevar a modificaciones de la personalidad, en tanto que no tiene sentido el llevar al afectado a la aceptación del nivel de función en que ha quedado o el modificado y con ello se le ayuda a que reencuentre su identidad.

Las experiencias y resultados de la medicina psicosomática, los conocimientos de la forma de pensar y actuar psicológica profunda y psicoterapéutica, así como las técnicas de los grupos Balint, pueden ser de gran ayuda para el terapeuta. Con ello se debe ser consciente del peligro que conllevan las experiencias suficientemente defectuosas en las llamadas formas de actuar.

Shilling (1977) señala que la enfermedad (trastorno funcional) es compañera del hombre, al que lleva a modificaciones de la forma y la fun-

ción, quedando, sin embargo, reconocible la forma funcional individual de cada uno. Esto sólo es posible cuando la aceptación de la dolencia se consigue sin autodestrucción.

Para el entendimiento de la cronicidad de una dolencia, Shilling nombra tres fases por las que debe pasar el afectado: fase de shock, fase de adaptación y fase de integración.

## 2. TÉCNICAS DE LA FISIOTERAPIA

H. Ehrenberg y K. Jückstock-Kaerger

### 2.1. INTRODUCCIÓN

El movimiento es el resultado “del funcionamiento combinado de músculos, tendones, articulaciones y huesos, es decir, de la interacción activa y pasiva del sistema locomotor”. (Barham 1982). La actividad muscular es posible gracias a la función neurofisiológica de la motricidad sensorial y a los procesos energético-musculares. Sin embargo el factor más importante para el movimiento es el ser humano cuando está motivado para aquél. Esto es válido también para la terapia de movimiento. Para la motivación, en la práctica es determinante la *información al paciente sobre el objetivo del tratamiento fisioterapéutico y el aprendizaje de la observación del cuerpo*. Ambos conceptos son importantes para la práctica individual de los pacientes. El aprendizaje de la observación ocurre cuando se dirige la atención hacia el cambio de tensión de los músculos, a las diferentes posturas del cuerpo, a las elongaciones musculares, a los movimientos de las articulaciones, a las posturas en el trabajo, etc.

Las técnicas en la fisioterapia se dividen en:

- Técnicas fisioterapéuticas de exploración.

- Técnicas fisioterapéuticas de tratamiento.

Las técnicas de tratamiento se subdividen en técnicas activas y técnicas pasivas. Esta división se hace para conseguir un aspecto general sistemático. Se completa con la inclusión de los capítulos “Moverse en el agua” y “Técnicas fisioterapéuticas especiales”.

### 2.2. EXPLORACIÓN EN FISIOTERAPIA<sup>1</sup>

La exploración fisioterapéutica está orientada al objetivo de plantear una recopilación planificada y enjuiciada de datos, lo que nos proporciona un cuadro suficientemente completo y detallado de la situación actual del paciente. Esta repetida y sistemática recopilación de resultados es necesaria porque

- gracias a ella se ejercita la observación selectiva y el enjuiciamiento seguro,
- se añade el análisis de los resultados de la exploración, de donde se deducen las metas del tratamiento, los principios del tratamiento y la aplicación de las técnicas de tratamiento,

<sup>1</sup>En colaboración con H. Lehman, Staatliche Berufsfachschule für Physiotherapie (Instituto Estatal de Fisioterapia), Bayreuth; A. Hüter-Becker, Schule für Krankengymnastik an der Orthopädischen Univ. Klinik (Escuela para la Terapéutica de la Clínica Universitaria de Ortopedia), Heidelberg.

- a través de esto es posible un control de los resultados del tratamiento,
- se puede incluir en la documentación de los procesos de tratamiento,
- con su ayuda se puede optimizar la actividad fisioterapéutica.

Tampoco hay que olvidar que, por razones de responsabilidad legal, es imprescindible disponer de la documentación completa. La exploración fisioterapéutica contiene las siguientes técnicas:

1. *Observación*, esto es con ayuda:
  - de la observación óptica= diagnóstico visual, inspección,
  - de la observación táctil= diagnóstico de tacto, palpación,
  - de la observación acústica= diagnóstico de audición.
2. *Preguntas* al paciente:
  - a) por sus padecimientos, sobre todo por sus dolores (localización, duración, aparición en determinadas espacios temporales o en determinados movimientos, etc.);
  - b) por su situación doméstica antes del alta clínica, es decir, saber si el paciente, cuando no depende de sí mismo, tiene la posibilidad de obtener ayuda exterior.
3. Valoración de la fuerza muscular, por ejemplo según el examen de fuerza muscular de Daniels y Worthingham (1982), así como la capacidad de tensión muscular, por ejemplo según Janda (1979).
4. Medición, por ejemplo, de los movimientos de las articulaciones según el "Neutral-Null-Method" (método neutral-nulo) de Debrunner (1971), mediciones de sensibilidad eléctrica con las llamadas curvas I-T, mediciones periféricas de las extremidades o del tórax en centímetros, medidas de las frecuencias respiratoria y cardíaca en cifras, etc.
5. Pruebas de reacción a los estímulos, es decir, por inclusión de sensaciones (estímulos a los que tiene que reaccionar el paciente); probar, por ejemplo, el equilibrio sentado o de pie, examinar el desarrollo motor en los niños, examinar la capacidad de reacción en pacientes con posibilidad de alteraciones de la conciencia por efectos de una vigilia prolongada (caso de vigilantes), etc.

El *comportamiento* de los pacientes puede estar influenciado por la enfermedad y las situaciones relacionadas con ella. Una observación del comportamiento del paciente —mientras tenga un significado para la situación terapéutica— tiene que ser tenida en cuenta por la exploración fisioterapéutica, pero no se anota por escrito porque depende demasiado de la situación y es por ello muy variable.

La exploración se hace *antes*, *durante* y *al final* del tratamiento fisioterapéutico. Para poderla valorar sistemáticamente se van a añadir, junto a las observaciones generales, los diagnósticos de los *órganos* o de los *sistemas orgánicos*, o sea

- de la *piel* (*panículo adiposo*) en relación con el color, temperatura, elasticidad, trofismo (nutrición, por ejemplo, empleo de las zonas de presión), sensibilidad (sensación), la denominada intercambia-



- bilidad entre la piel y las fascias corporales; relieve cutáneo respecto de las denominadas hinchazón y retracción en “el diagnóstico del tejido conjuntivo” (Kohlrausch 1959, Teirich-Leube 1983), relieves cutáneo y muscular (atrofia muscular – hipertrofia muscular), hemostasis y edema, venas cutáneas (venas marcadas, varices);
- de los *huesos* en relación con la desviación del eje del tronco y de las extremidades, diferencias de longitud de las extremidades;
  - de las *articulaciones* en relación con la forma, medición del movimiento (hipomovilidad o hipermovilidad), dolores, sonidos al moverse;
  - del *sistema neuromuscular* en relación con sus características sensorimotrices, es decir, existencia de cambios:
    - la sensibilidad (en la superficie o en el interior),
    - del sensorio (percepción sensorial de los ojos y oídos),
    - de la motricidad en relación con los cambios en el comportamiento reflejo y la motricidad diaria,
    - de la musculatura en relación con la tensión muscular, la fuerza muscular, resistencia de la fuerza muscular;
  - de la *circulación* (corazón y vasos) en relación con el pulso y con la presión arterial, opinión subjetiva y sensación de la capacidad en el esfuerzo ortostático (concerniente a la postura del cuerpo) y en el esfuerzo continuado, color de la piel, edemas, dolores en las extre-

midades y “en el pecho”;

- de la *respiración* en relación con la manera de respirar (vías respiratorias, movimientos en la respiración, frecuencia y ritmo de la respiración, trastornos respiratorios, tos y secreciones de bronquios, forma del tórax, movilidad de las costillas);
- de los *órganos del abdomen* en relación con la piel y con el diagnóstico de palpación de los músculos del abdomen y de la región lumbar en caso de estreñimiento;
- del *sistema urogenital* en relación con molestias en la micción, la incontinencia urinaria, en formas sencillas de descenso de la matriz.

Los resultados se incluirán en los formularios de diagnóstico. Se incluirá en ellos el nombre, los datos personales, se consignará el diagnóstico dado por el médico y se describirá la situación actual (fuerza, lucidez de conciencia, dolores, disponibilidad de ayuda exterior e independencia relacionada con los movimientos diarios). En otros formularios se anotarán los resultados del reconocimiento, de las preguntas al paciente, de las pruebas de estímulo y reacción. En otros formularios se registrarán los valores y apreciaciones de la medición de la fuerza muscular, del “método neutral-nulo”, del volumen de las extremidades o del tórax, de la curva I-T y otros. En el último formulario de diagnóstico se analizarán y valorarán los últimos resultados de la exploración. Esta valoración es la base para un plan de tratamiento fisioterapéutico, el cual se divide en objetivos, pun-

tos de vista, es decir, principios y medidas. A través de exploraciones repetidas se comprueba la efectividad del tratamiento fisioterapéutico. Para ello son necesarios los avisos o mensajes sobre posibles graduaciones o variaciones del subsiguiente desarrollo del tratamiento.

## 2.3. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO FISIOTERAPÉUTICO

### 2.3.1. Posiciones<sup>1</sup>

*Definición:* las posiciones son las posturas del cuerpo en las que comienzan los movimientos, con cuya actividad o paralización se van a representar las condiciones para la tensión o la relajación.

Se diferencian cuatro posiciones en el cuerpo: decúbito supino, decúbito prono, sedestación, bipedestación. Para la elección de las posiciones hay que tener en cuenta varios factores que en el capítulo sobre fisioterapia se describen en diferentes áreas de la medicina. En este capítulo se comentan las posiciones en relación con la actuación de la fuerza de gravedad.

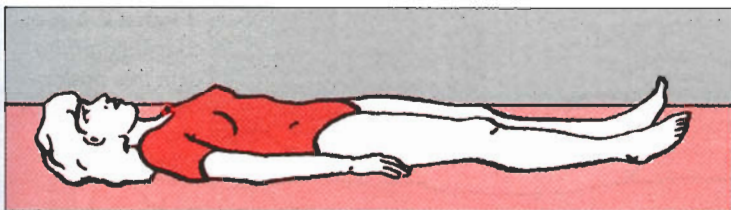
#### Sobre la estabilidad e inestabilidad de las posiciones

El centro de gravedad del cuerpo es un punto ficticio en el que física-

mente se estima concentrado el peso del volumen corporal. Es el punto de aplicación de todas las fuerzas en el cuerpo y cambia su situación según la distribución del volumen corporal. Por él, el peso del cuerpo es atraído hacia el centro de la tierra. Si se está de pie, el centro de gravedad se sitúa en el plano sagital medio (zona del eje de simetría del cuerpo) algo por encima de la segunda vértebra sacra y por debajo del promontorio (eminencia o elevación entre la 5ª vértebra lumbar y la 1ª vértebra sacra, la que más sobresale en la pelvis).

Ya que el cuerpo, estando en posición erecta, se puede girar por el eje de la articulación (centro giratorio de rotación) en las articulaciones del pie, de la rodilla, de la cadera y de la columna vertebral, se encuentra en un equilibrio inestable cuando el centro de gravedad está situado por encima de los centros giratorios de rotación. Entonces el centro de gravedad se sitúa con respecto al suelo en una línea vertical llamada línea de gravedad (Figuras 2.12 a, b y 2.14 a, b), sobre la superficie de apoyo, es decir, en los puntos del interior de una curva cerrada. Si la línea de gravedad sobrepasa esta superficie de apoyo por debajo del centro de gravedad del cuerpo, es decir, si se sitúa fuera de ella, entonces se requiere hacer fuerza en el tronco y en las piernas o sostener el cuerpo con los brazos para proteger el cuerpo de una caída. Por esto, la posición es más estable cuanto más grande sea el área de apoyo y cuanto

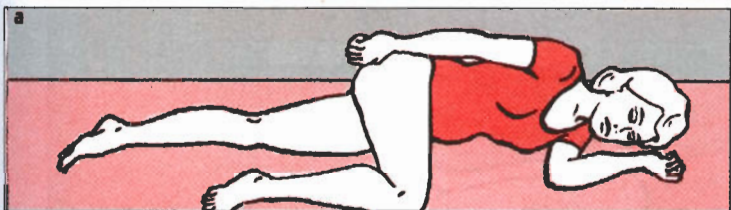
<sup>1</sup> En colaboración con el Prof. Dr. Méd. H. M. Schmidt, Anatomisches Institut der Universität (Instituto Anatómico de la Universidad), Bonn.



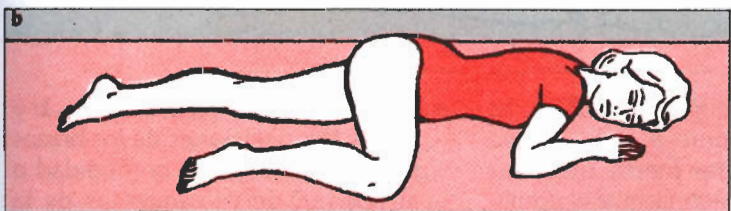
**Figura 2.1:**  
*Decúbito supino.*



**Figura 2.2:**  
*Decúbito lateral.*



**Figura 2.3 a y b:**  
*Decúbito lateral estabilizado.*



más abajo se encuentre el centro de gravedad del cuerpo con respecto a éste. Es más *inestable* cuanto menor sea la curva de apoyo y más alto esté el centro de gravedad. En este caso es necesaria poca fuerza para sacar al cuerpo de un equilibrio inestable y provocar la caída.

Para moverse en una posición erecta hay que tener también en cuenta la naturaleza del área de apoyo, si es móvil (*inestable*) o fija (*estable*). Una complexión robusta requiere una mayor fuerza que se

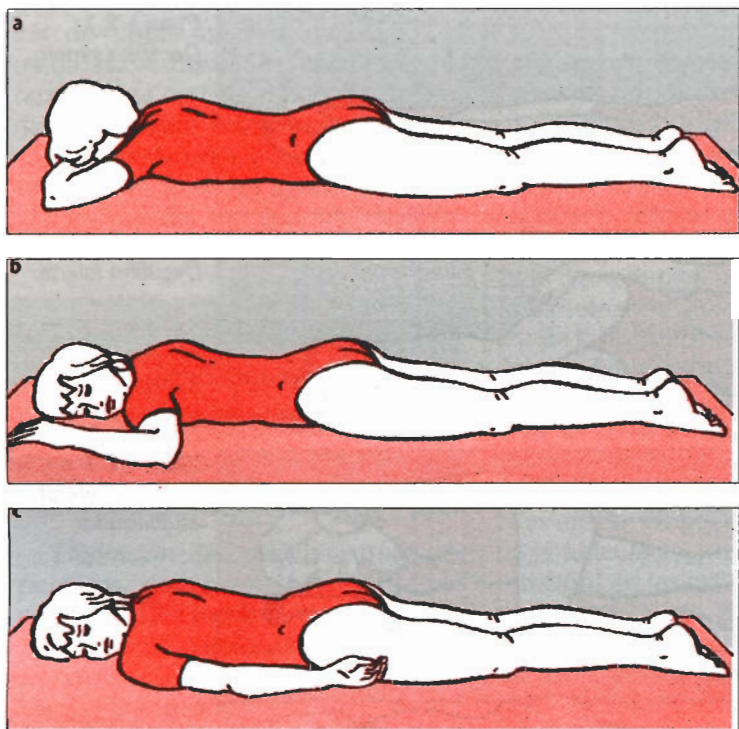
oponga, mejora la contracción muscular y con ello la estabilidad. Una base móvil se mueve por el peso del cuerpo, la base de apoyo se desliza, la estabilidad se vuelve insegura.

### **Las posiciones más usuales**

#### **Decúbito**

La posición tumbada es, con respecto a la influencia de la fuerza de la gravedad en el cuerpo, la más sencilla, puesto que el cuerpo está totalmente apoyado y fijado por el peso. Coincide el centro de gravedad con el





**Figura 2.4 a-c:**  
Decúbito prono  
con tres posicio-  
nes de los brazos.

centro giratorio de rotación, se encuentran uno junto a otro, así que sólo hace falta una fuerza muscular insignificante para conseguir el equilibrio entre todas las fuerzas que tienen lugar en el cuerpo.

- Decúbito supino (Figura 2.1): en algunos enfermos la posición horizontal tiene que ser modificada por un ligero levantamiento del tronco mediante cojines o almohadas debajo de la cabeza o las rodillas.
- Decúbito lateral (Figura 2.2): es una posición que cambia dependiendo de las diferentes posturas de los brazos y piernas, y que en parte se puede estabilizar y permite muchas variaciones (Figuras 2.3 a y b).

- Decúbito prono (Figura 2.4 a, b y c): las tres posiciones de los brazos se ordenan según la comodidad o la libertad de movimientos de la postura de la cabeza.

### Sedestación

En la posición recta sentada, reaccionan contra el mantenimiento del equilibrio inestable las siguientes fuerzas influyentes en la acción de la gravedad:

- a) el apoyo del cuerpo mediante la posición de asiento,
- b) la contracción muscular estática de los músculos de la espalda, de los hombros y del abdomen. La consecución del equilibrio sentado (igual que ocurre estando de pie)





**Figura 2.5 a:** Posición sentada en la silla.



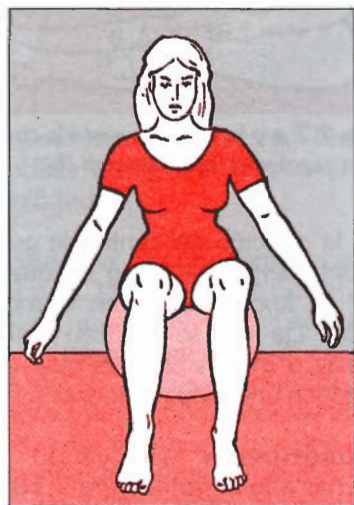
**Figura 2.5 b:** Posición sentada en un taburete.

se puede complicar cuando se está sobre una base móvil como, por ejemplo, el columpio que se balancea, el que gira, el balón de terapia.

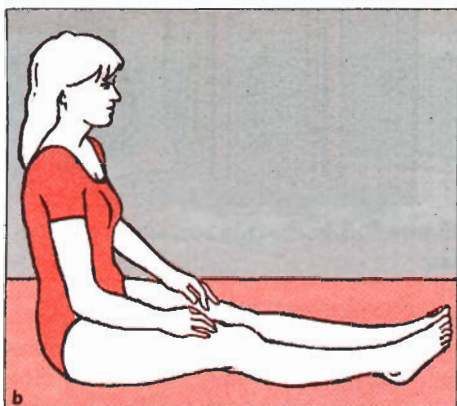
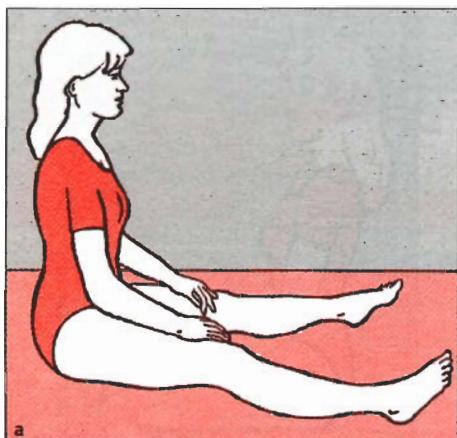
- Posición sentada en la silla o en el taburete (Figura 2.5 a y b).
- Posición sentada encima del balón terapéutico (Figura 2.6), en columpio balancín o giratorio, es decir, encima de una base inestable (móvil).
- Posición sentada con las piernas separadas (Figura 2.7 a).
- Posición sentada con las piernas estiradas (Figura 2.7 b).

### Bipedestación

Las posiciones de pie se diferencian unas de otras dependiendo de la altu-



**Figura 2.6:** Posición sentada encima del balón terapéutico (introducida por Klein-Vogelbach).



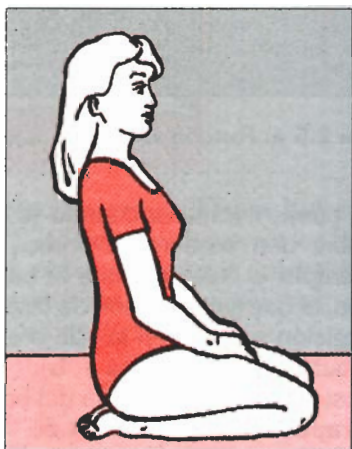
**Figura 2.7 a y b:** Posición sentada con las piernas separadas (a) y estiradas (b).

ra de la posición del centro de gravedad del cuerpo así como de que las áreas de apoyo sean más o menos grandes. De aquí se deducen posiciones más o menos estables que, a su vez, exigen una mayor o menor fuerza.

**Cuadripedia** (apoyando las ropiernas a lo largo) (Figura 2.10): el peso del cuerpo se reparte casi de la misma manera entre los brazos y las piernas. La superficie de apoyo que



**Figura 2.8:** Posición sentada con las piernas cruzadas.



**Figura 2.9:** Posición sentada sobre los talones.

se encuentra entre los brazos y las piernas es grande. El centro de gravedad del cuerpo en esta posición se ha trasladado de la región craneal al tronco. (Kummer 1960). La vertical que cae desde el centro de gravedad del cuerpo se sitúa por delante de las rodillas en la superficie de apoyo

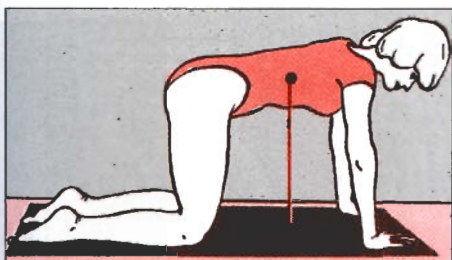


Figura 2.10: A cuatro patas con superficie de apoyo y vertical del centro de gravedad.

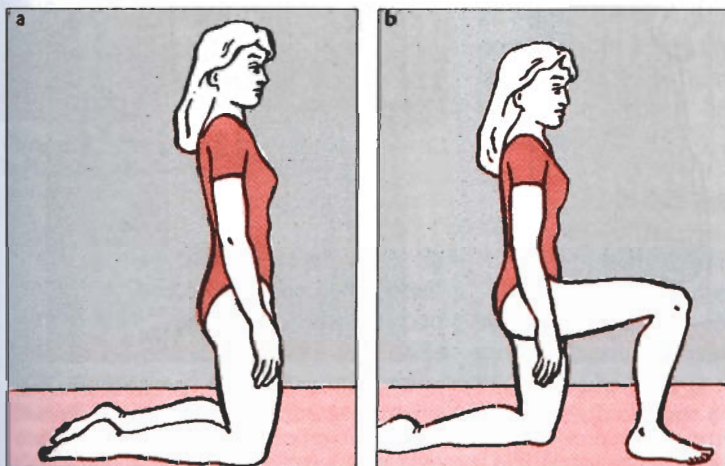


Figura 2.11: Arrodillado (a) y medio arrodillado (b).

(Figura 2.10), por lo que cuando se separan las manos de la superficie de apoyo, el centro de gravedad corporal tiene que ser llevado hacia atrás para evitar la caída del cuerpo.

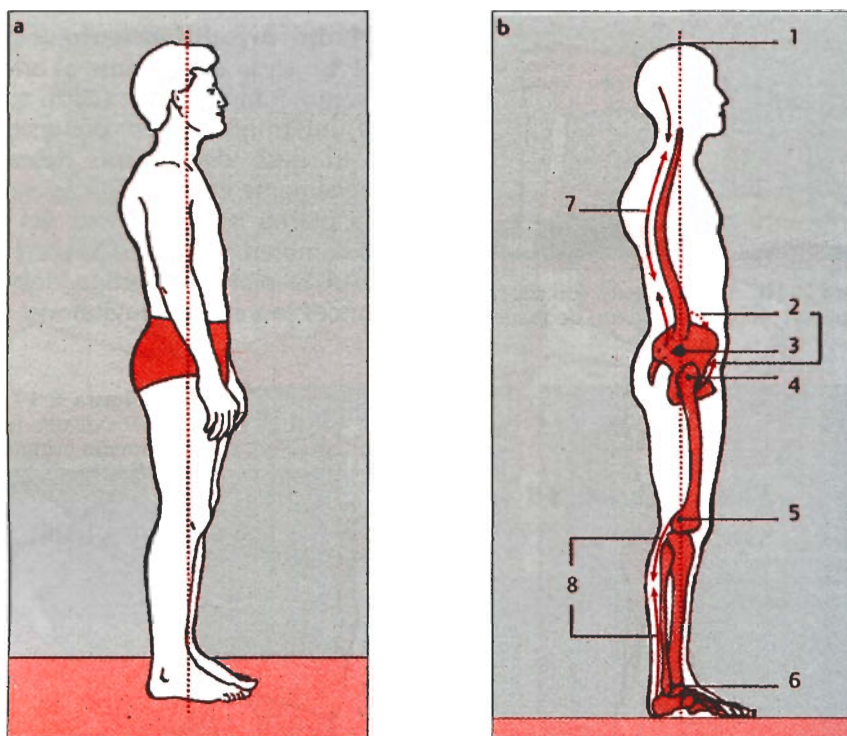
**Arrodillado** (Figura 2.11 a): el peso del cuerpo descansa sobre ambas rodillas, las piernas y el dorso de los pies. Comparado con la posición erecta, el centro de gravedad del cuerpo se ha acercado al suelo. Una mayor separación de las rodillas aumenta la superficie de apoyo y mejora la estabilidad de la postura.

**Medio arrodillamiento** (Figura 2.11 b): sirve de variante al arrodillamiento completo y se utiliza como paso intermedio para ponerse de pie. El peso del cuerpo descansa especialmente en la rodilla apoyada, en la pierna y en el dorso del pie, pero también se puede repartir un poco a la pierna colocada delante. Entonces la vertical gravitatoria cae-

ría desde entre las piernas hacia la superficie de apoyo. Esto mejora la estabilidad.

**Posición erecta** (bipedestación) (Figura 2.12 a): en la persona en posición erecta, el peso corporal se reparte paralelamente a la columna vertebral. El peso se reparte de igual manera sobre ambos pies, la vertical gravitatoria transcurre por detrás del eje frontal de ambas articulaciones de la cadera y delante del eje frontal de ambas articulaciones de la rodilla, y se encuentra entre los pies en la





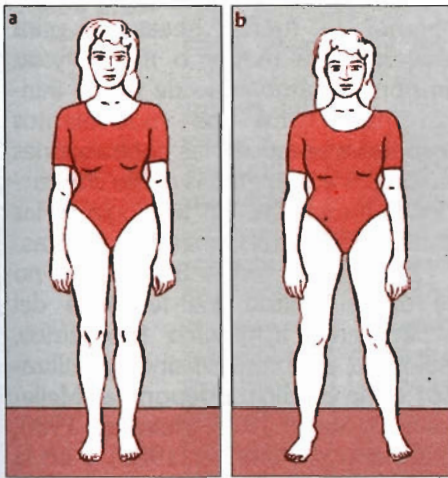
**Figura 2.12 a-b:** *a)* Hombre joven en posición erecta con la vertical gravitatoria señalada. *b)* De pie en posición relajada. 1 línea vertical gravitatoria, 2 músculo psoasiliaco, 3 centro de gravedad del cuerpo, 4 proyección del eje frontal de la articulación de la cadera, 5 proyección del eje frontal de la articulación de la rodilla, 6 proyección del eje de la articulación superior del tobillo, 7 músculo erector de la columna, 8 flexores de la pierna (de Kummer).

superficie de apoyo (Figura 2.12 b). Esta postura tan cómoda proporciona estabilidad cuando hay poca actividad muscular del músculo erector de la columna en la espalda y de los flexores de la pierna. “En esta posición los ligamentos iliofemorales de ambas articulaciones de la cadera, los ligamentos laterales y los cruzados están tensados en las articulaciones de la rodilla” (Frick y colaboradores, 1987).

- Posición normal (Figura 2.13 a): de pie, con los pies poco separados,

los cuales soportan a partes iguales el peso del cuerpo. La superficie de apoyo es pequeña, el centro de gravedad corporal está, en comparación con la posición de rodillas, más alto. La vertical gravitatoria se sitúa en esta posición –reseñada por Frick como “posición relajada”– aproximadamente en el punto terciario posterior del diámetro sagital de la superficie de apoyo (Figura 2.14 a). En la superficie de apoyo está dibujado el eje sagital, el cual ha sido dividi-





**Figura 2.13 a y b:** *a* Posición normal, *b* Posición con las piernas abiertas.

do en tres partes para indicar la vertical gravitatoria. En esta "posición normal", en comparación con otras posiciones erectas, está más amenazado el equilibrio inestable.

- *Posición con las piernas separadas* (Figura 2.13 b): de pie con las piernas separadas el ancho de las caderas, donde los pies ligeramente van hacia los laterales. La

superficie de apoyo (Figura 2.14 b) es grande y garantiza una clara estabilidad. Esto sirve también para la posición de marcha.

La consecución del equilibrio en las posiciones corporales sentadas y de pie es básicamente el trabajo del llamado reflejo propio de los músculos.

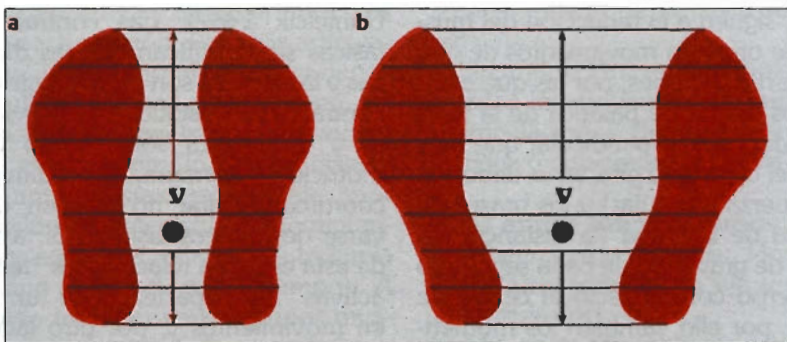
Éstos dan lugar en la traslación del centro de gravedad del cuerpo contra el borde de la superficie de apoyo a contracciones musculares estáticas en las caderas y las piernas; también los brazos colaboran en la consecución del equilibrio.

### Suspendido

(está reseñada más adelante como actividad inicial)

Al colgarse, el centro de gravedad se encuentra por debajo del punto giratorio, es decir, por debajo del objeto agarrado con las manos (anillas, barra, espalderas). Hay un equilibrio estable.

Al colgarse, se debe observar una clara tensión de los músculos de la cintura torácica. (Figura 2.15).



**Figura 2.14 a-b:** Superficie de apoyo y situación de la vertical gravitatoria, *a* en posición normal. *b* con las piernas separadas.

### 2.3.2. Técnicas activas

#### Respecto a la terminología

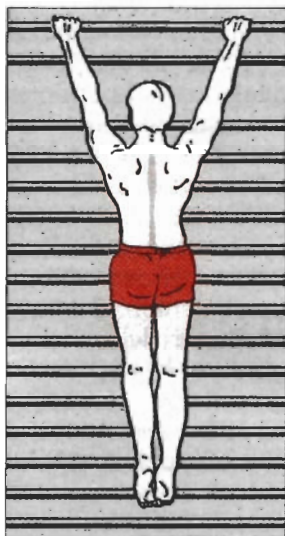
Las técnicas de tratamiento fisioterapéuticas, que exigen una actividad muscular por parte de los pacientes y no son designadas como "técnicas especiales de tratamiento fisioterapéutico", se incluyen en los conceptos de *movimiento* y *postura*. La terminología fisioterapéutica define ambos modos de contracción muscular. En el experimento fisiológico se designan como contracción isotónica (acortamiento del músculo causada por una tensión constante) y como contracción isométrica (aumento de la tensión del músculo por un constante estiramiento). Las contracciones isométricas aparecen en los movimientos cotidianos (posición del cuerpo en contra de la fuerza de la gravedad), en los movimientos relacionados con la actividad laboral (cargar con un peso) y en el deporte. Las contracciones isotónicas son sólo posibles en experimentos fisiológicos. En el día a día, en el trabajo, en el deporte o en la danza apenas aparecen, porque los huesos, debido a su trabazón con las articulaciones, siguen a la reducción del músculo. Se originan movimientos de giro en las articulaciones, por las que cambian los brazos de palanca de la fuerza (es decir, la perpendicular que baja desde el centro de giro en la dirección de la fuerza muscular) y los brazos de palanca de la carga (la distancia del centro de gravedad de cada segmento del cuerpo con respecto al centro de giro) y, por ello, también los momentos del giro. Debido a esto, el esfuerzo que tiene que hacer un músculo para

obtener la fuerza necesaria para moverse será mayor o menor y su tensión va cambiando de forma intermitente. En los movimientos corporales aparecen las contracciones isotónicas e isométricas como contracciones mezcladas. En fisiología se las denomina contracciones auxotónicas.

En el futuro en la fisioterapia, no se deben utilizar los términos del experimento fisiológico (isométrico, isotónico, auxotónico) sino los utilizados en la medicina deportiva (Mellerowicz y Meller 1978, Heirpertz 1980, Hollmann y Hettinger 1980) y en la medicina del trabajo (Valentin y colaboradores, 1985) de *contracciones dinámicas en el movimiento* y *contracciones estáticas en la postura*. Estas denominaciones caracterizan mejor, dentro del ámbito de la utilización especializada del idioma, los procedimientos motores y sobre todo tienen más en cuenta los factores variables de fuerza y carga en los movimientos de las articulaciones.

En las técnicas de tratamiento para los trastornos cerebrales se hace distinción entre contracciones musculares fásicas y tónicas (Feldkamp y Danielcik 1982). Las contracciones fásicas se identifican con las dinámicas y las tónicas son equivalentes a las contracciones estáticas. El movimiento y la postura son, dentro de la motricidad humana, procedimientos *coordinados* que no pueden observarse de manera aislada. Si, a pesar de esta estrecha relación, las "técnicas activas" se reparten, por un lado en movimientos y, por otro lado, en posiciones, entonces se tendrá en cuenta que en la fisioterapia los

**Figura 2.15:**  
Colgado en las  
espalderas.



modos de movimiento y de posición provocan efectos diferenciados y por eso se emplean técnicas especiales de movimiento y posición.

### 2.3.3. Movimiento

**Definiciones:** con el término "movimiento" se designa las contracciones musculares dinámicas causadas por la acción del eje de rotación de las articulaciones. Según su capacidad de esfuerzo, trabajan músculos de una articulación o de más articulaciones (las denominadas cadenas musculares) como actuantes en un cierto sentido (agonistas) o provocando el efecto contrario (antagonistas). Los antagonistas posibilitan, por reducción de su tensión, el movimiento a los agonistas, esto es, controlan la amplitud y la velocidad (tempo). A menudo trabajan varios grupos musculares en forma sinérgica, es decir, trabajando todos con la misma efica-

cia. Mediante las formas de articulación y sus características principales se dan diferentes grados de libertad, que posibilitan los siguientes movimientos básicos:

- Flexión (doblar) – extensión (estirar).
- Abducción (separar) – aducción (acercar).
- Rotación externa (rodar hacia fuera) – rotación interna (rodar hacia dentro).
- Supinación de la mano con el codo doblado (la palma de la mano visible).
- Pronación de la mano con el codo doblado (el dorso de la mano visible).
- Inversión (antero-supinación) del pie (elevando el interior del pie); eversión (antero-pronación) del pie (elevando el exterior del pie) son movimientos de la baja articulación tibiotarsiana (nueva denominación del concepto según Debrunner 1971, "Neutral-Null-Method").
- Supinación – pronación del antepié, que aparece en la fijación del calcáneo con el astrágalo a través de la torsión de la placa subastragalina.
- Circunducción, que es la suma de todos los movimientos posibles en articulaciones de dos o tres ejes (Frick y colaboradores, 1987).

#### Al andar diferenciamos:

- *Movimientos aislados:* Movimientos alrededor de un eje y en una articulación.
- *Movimientos complejos:* Movimientos que tienen lugar alrede-



dor de más de un eje en una articulación, o movimientos en diferentes articulaciones, que tienen lugar en el mismo momento o uno detrás de otro. El concepto de movimientos complejos no puede ser confundido con el sistema de movimiento denominado "movimiento complejo" de Kabat-Knott = FNP ("facilitación neuromuscular propioceptiva"), porque esta técnica especial se utiliza en determinados ejercicios de movimiento.

### **Movimiento con apoyo**

*Definición:* Moverse con disminución del propio peso, es decir, bajo una reducida influencia de la fuerza de la gravedad.

#### **Formas de apoyo**

La ayuda puede ser

- manual,
- mediante aparatos (mecánico),
- mediante la fuerza de empuje del agua.

El movimiento con ayuda es posible tanto en la forma de un movimiento complejo como en la de uno aislado. En algunas articulaciones se tiene que hacer una fijación para poder llevar a cabo un movimiento aislado, es decir, se pretende evitar un movimiento indeseado de acompañamiento de otras articulaciones. Esta fijación se coloca cerca de la articulación que se quiera mover.

#### **Apoyo manual**

El fisioterapeuta coge con sus manos la extremidad o la parte de la extremidad que tiene que moverse y sigue el movimiento con este apoyo.

#### **Apoyo con aparatos**

*Mesa de suspensión:* Gracias a diferentes suspensiones y fijaciones se puede realizar el movimiento con casi una total anulación del propio peso corporal. El punto de suspensión está en la perpendicular por encima de la articulación que se tiene que mover en dirección al eje de movimiento. El movimiento oscila alrededor del eje. Eso significa una gran posibilidad de movimiento con un esfuerzo mínimo.

*Polea:* Se apoya el movimiento con una polea, con lo que se puede reducir en parte o totalmente el peso propio. La polea está fijada y cuelga en vertical por encima de la articulación que hay que mover. El aparejo tiene a un lado un lazo (distal a la articulación que hay que mover) y un asidero al otro lado (la mayoría de las veces proximal a la articulación que hay que mover); el movimiento se realiza al tirar del asidero el lazo hacia el aparejo.

### **Técnicas del movimiento con apoyo**

#### **Movimiento aislado con ayuda**

El movimiento con apoyo de un eje articular se representa de forma ejemplar en las articulaciones de las rodillas, los codos, las caderas y los hombros. Los ejemplos y figuras elegidos se tienen que entender como ilustración inicial del tratamiento, el cual se puede aplicar a todas las demás articulaciones y posiciones.

#### **Articulación de la rodilla**

La articulación de la rodilla es una articulación de dos ejes, alrededor de



cuyo eje transversal se lleva a cabo el movimiento de flexión y extensión, y en cuyo eje longitudinal desarrolla la pierna el movimiento de rotación externa e interna. El último movimiento es sólo posible en la posición de flexión de la articulación de la rodilla. Los movimientos principales de la articulación de la rodilla son la flexión y la extensión, cuya amplitud del movimiento normal es 135 / 0 / 0 grados. Se mide según el método neutral-cero.

En los siguientes ejemplos sólo se describe la dirección del movimiento en extensión. El músculo que lleva a cabo este movimiento es el músculo cuádriceps femoral.

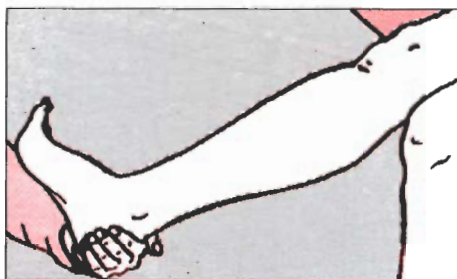


Figura 2.16

#### Apoyo manual (Figura 2.16)

- **Posición del paciente:** Sentado en el banco; la pierna colgando, la articulación de la rodilla flexionada 90 grados.
- **Fijación:** Si fuera necesaria, por encima de la rótula, en el muslo.
- **Apoyo:** En el talón.



Figura 2.17

#### Apoyo en la mesa de suspensión (Figura 2.17)

- **Posición del paciente:** Lateral: cadera estirada, articulación de la rodilla doblada; cabestrillo en el muslo y en el pie; el punto de giro está perpendicularmente por encima de la articulación de la rodilla.
- **Posición del fisioterapeuta:** Por detrás del paciente.
- **Fijación:** Mano y antebrazo en el muslo (por el lado estirado) del paciente, para evitar un acompañamiento del movimiento de la articulación de la cadera.

#### Apoyo en la polea (Figura 2.18)

- **Posición del paciente:** Sentado en la cama, articulación de rodilla flexionada 90 grados. El cabestrillo en la pierna (o en el pie), la polea en perpendicular por encima de la rodilla, asidero en la mano del paciente o en la del fisioterapeuta.
- **Fijación:** Si es necesaria, por encima de la rótula en el muslo.

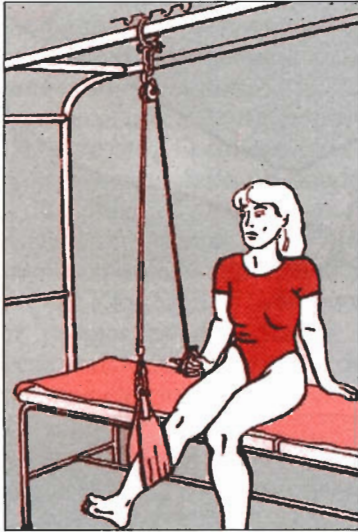


Figura 2.18

#### Articulación del codo

La articulación del codo es una articulación de dos ejes, a través de cuyo eje transversal se lleva a cabo el movimiento de flexión y extensión, y por cuyo eje longitudinal se ejecuta el movimiento de pronación y supinación. La amplitud del movimiento de flexión y extensión es normalmente 140 / 0 / 0 grados. Medición llevada a cabo según el método neutral-cero.

En los siguientes ejemplos sólo se describe la dirección del movimiento en la flexión. Los músculos que ejecutan este movimiento son el bíceps braquial, el m. braquial y el m. braquiorradial.

#### Apoyo manual (Figura 2.19)

- **Postura del paciente:** Decúbito supino, el codo estirado.
- **Sujeción:** En el antebrazo.

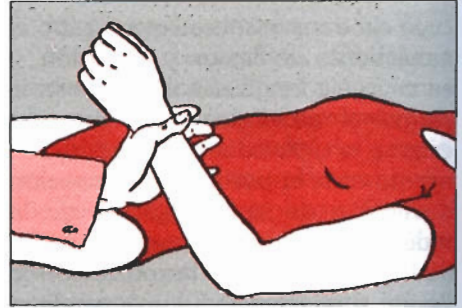


Figura 2.19

#### Apoyo en la mesa de suspensión (Figura 2.20)

- **Posición del paciente:** Sedestación en el taburete; la articulación del hombro extendida en 90 grados, articulación del codo estirada. Un cabestrillo en la articulación de la muñeca, el otro en el brazo, colgado en perpendicular con respecto a la articulación del codo.

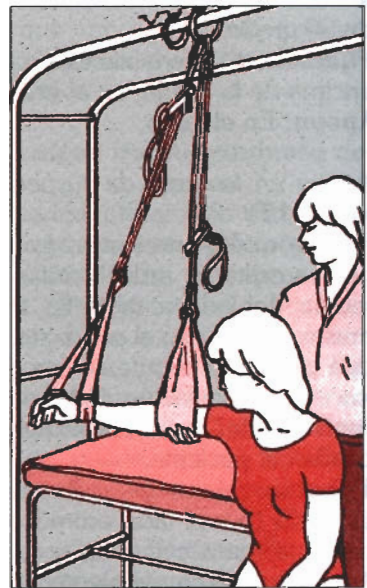


Figura 2.20

- **Fijación:** En el brazo con el fin de evitar un movimiento acompañado de la articulación del hombro.

### Articulación de la cadera

La articulación de la cadera es una articulación de tres ejes: por el eje transversal se desarrolla el movimiento de flexión y de extensión, por el eje sagital tiene lugar el movimiento de abducción y de aducción, y por el eje longitudinal se ejecuta el movimiento de rotación externa e interna.

En los ejemplos que siguen a continuación sólo se describe la dirección del movimiento en la abducción. La amplitud del movimiento en abducción-aducción es normalmente  $45 / 0 / 25$  grados. Medición realizada según el método neutral-cero.

Los músculos principales que desarrollan este movimiento de abducción son el m. glúteo medio y el m. glúteo menor.

*Apoyo manual* (Figura 2.21)

- **Posición del paciente:** Decúbito lateral; en la pierna que está en posición inferior flexionar la articulación de la rodilla y de la cadera, en la pierna superior estirar la articulación de la rodilla y de la cadera.
- **Posición del fisioterapeuta:** Detrás del paciente.
- **Apoyo:** Una mano en los aductores de cadera y la otra en el tobillo medial (maléolo).

*Apoyo en la mesa de suspensión* (Figura 2.22)

- **Posición del paciente:** Decúbito supino; articulación de la

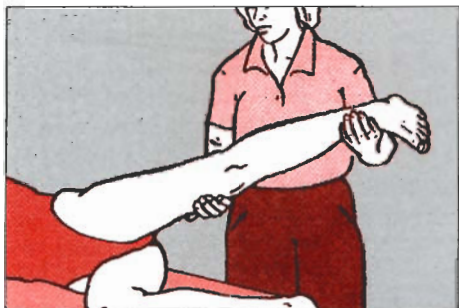


Figura 2.21

cadera algo flexionada, articulación de la rodilla estirada. Un cabestrillo por encima de la rodilla, otro cabestrillo en el pie. El punto de suspensión del cabestrillo está en perpendicular con respecto a la articulación de la cadera.

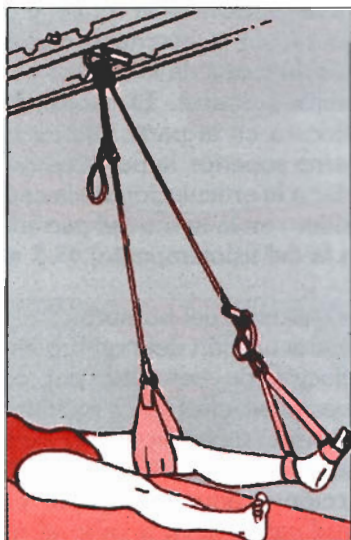


Figura 2.22



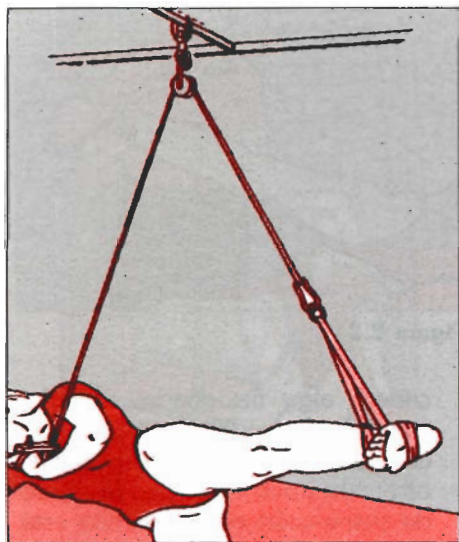


Figura 2.23

*Apoyo en la polea (tren de rodamiento) (Figura 2.23)*

- **Posición del paciente:** Lateral; en la pierna inferior flexionar la articulación de la rodilla y de la cadera; en la pierna superior las articulaciones de la cadera y de la rodilla estiradas. El cabestrillo se colocará en la parte inferior de la pierna superior, la polea perpendicular a la articulación de la cadera. Asidero en la mano del paciente (o en la del fisioterapeuta).

Articulación del hombro

La articulación del hombro es una articulación de tres ejes: por el eje transversal se ejecuta el movimiento de extensión y flexión, por el eje sagital se ejecuta el movimiento de abducción y aducción, y por el eje longitudinal se lleva a cabo el movimiento de rotación externa e interna.

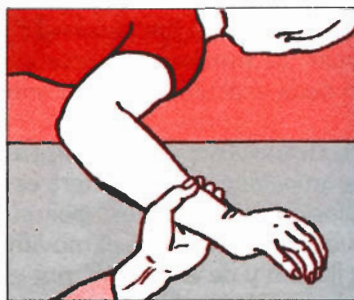


Figura 2.24

En los siguientes ejemplos sólo se describirá el movimiento direccional de la rotación externa. La amplitud del movimiento de la rotación externa / interna es normalmente 90 / 0 / 60 grados. Medición realizada según el método neutral-cero.

Los principales músculos que ejecutan este movimiento de rotación exterior son el m. deltoides (porción espina), el m. infraespinoso, y el m. redondo menor.

*Apoyo manual (Figura 2.24)*

- **Posición del paciente:** Decúbito prono; abduciendo la articulación del hombro 90 grados, la parte superior del brazo está apoyada en el banco, el antebrazo cuelga, el codo flexionado 90 grados.

**Apoyo:** En el antebrazo.

*Apoyo en la mesa de suspensión (Figura 2.25)*

- **Posición del paciente:** Lateral: Articulación del hombro abducida 90 grados, articulación del codo flexionada 90 grados. El cabestrillo se sitúa en el antebrazo, de forma que quede colgado perpendicular con respecto a las articulaciones del hombro y del codo.



Movimientos complejos con apoyo

Movimiento producido simultáneamente en dos ejes articulares de una misma articulación (Figura 2.26): articulación del codo: flexión, pronación.

- **Posición del paciente:** Decúbito supino; codo estirado y supinado.
- **Apoyo:** "Agarrando o estrechando la mano".

Movimiento de cada eje articular en dos articulaciones (Figura 2.27):  
Articulación de la rodilla: flexión.  
Articulación de la cadera: flexión.

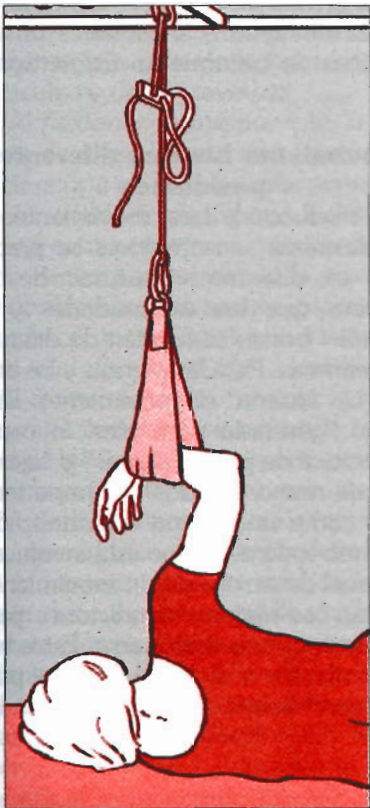


Figura 2.25

**Posición del paciente:** Decúbito supino; articulación de la cadera y de la rodilla estiradas.

- **Posición del fisioterapeuta:** Al lado del paciente.
- **Apoyo:** Una mano en el talón, la otra mano en la parte inferior del muslo.

Mientras el aparato lo permita, el movimiento complejo con apoyo sólo es posible cuando se muevan varias articulaciones en el mismo eje, es decir, la dirección del movimiento en todas las articulaciones sea la misma.



Figura 2.26

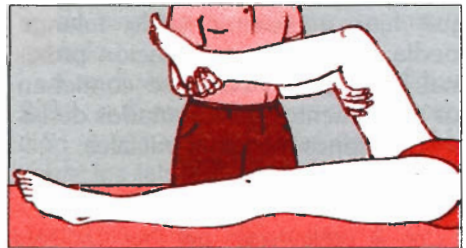


Figura 2.27

### Movimiento libre<sup>2</sup>

**Definición:** Un movimiento libre es aquel que se ejecuta con ausencia de todo tipo de apoyo y de otras resistencias, es decir, es un movimiento que se ejecuta dentro del campo de acción de la gravedad de la tierra y por ello con la fuerza de gravedad y contra la resistencia de la fuerza gravedad.

El movimiento libre es en especial un *movimiento complejo libre*, los movimientos básicos (flexión y extensión, rotación externa e interna, aducción y abducción, pronación y supinación o inversión y eversión) se pueden combinar en una gran cantidad de movimientos. Al mismo tiempo los músculos tienen, además de su función de movimiento, una función de posición, lo que quiere decir que algunos músculos juegan un papel fijador (estabilizador) en determinados sectores del cuerpo. Por esta razón para la práctica del *movimiento aislado libre*, se tienen que retener, mediante una fijación manual, movimientos de acompañamiento en otras articulaciones donde no hay posibilidades de fijación muscular. Éste es el caso de las articulaciones de los dedos de los pies y de las manos. Para llevar a cabo un movimiento aislado libre de las articulaciones de los dedos del pie y de la mano, se tiene que fijar manualmente la falange media, es decir la articulación proximal final. Es así como se contienen los movimientos acompañados de las articulaciones medias e iniciales.

Puesto que el movimiento libre es esencialmente un movimiento complejo, se renuncia en la representación de diferentes formas del movimiento libre a la denominación suplementaria de "complejo".

Hoy en día se designa también en el deporte, en la gimnasia y en los ejercicios terapéuticos, debido a la estrecha relación de los procesos sensoriales (observación sensitiva) y los procesos motores (movimientos), como *destrezas sensomotrices*. Esto se toma en cuenta en el aprendizaje de nuevos movimientos –también en el desarrollo sensomotor del niño– a través de ayudas sensoriales en las técnicas de tratamiento fisioterapéutico.

### Movimiento libre en diferentes posiciones

**Introducción:** Los movimientos o las destrezas sensomotores se practican en diferentes posturas de tal manera que las extremidades y la cabeza / tronco se fuercen de diferentes maneras. Para las piernas y los brazos se enseña el movimiento libre como "gimnasia para pies" o como "ejercicios de pies y piernas" y "ejercicios de mano y dedos" en parte también como una forma estandarizada. Cuando todo el cuerpo está involucrado en el desarrollo de un movimiento, se dan las mejores condiciones para estirarse, girar o flexionarse. Estos tres movimientos básicos también se pueden combinar en los ejercicios de los

<sup>2</sup> Con la colaboración del Prof. Dr. Méd. H. M. Schmidt, Anatomisches Institut der Universität (Instituto Anatómico de la Universidad), Bonn.