

ASPECTES FISIOLÒGICS DEL TENNIS

Resum

Davant el nombre creixent de practicants del tennis, impulsat en gran mesura per un nombre de jugadors cada vegada major que assoleixen el nivell professional i per la popularitat que se'n deriva a través dels mitjans de comunicació, hem cregut interessant definir el perfil fisiològic del tennista, aprofundint en la fisiologia de l'exercici aplicada a aquest esport.

Hem realitzat una anàlisi de les vies implicades en l'aportació d'energia durant l'entrenament i la competició, així com d'altres qualitats físiques no menys rellevants com són la força muscular (en les diferents modalitats) i la flexibilitat, mitjançant l'aplicació de tests tant en el laboratori de fisiologia com en el mateix terreny de joc, en un intent de fer una aproximació a les condicions reals de competició.

De tot això es desprenen uns resultats amb els quals pretenem complementar la valoració de l'evolució i adaptació a l'entrenament de cada jugador, així com per a la selecció dels jugadors més joves durant la seva fase de formació mitjançant la predicció de l'evolució de les qualitats analitzades, evidentment mai de manera aïllada, sinó en estreta col·laboració amb el nivell tècnic i tàctic de l'individu en qüestió, avaluat pels seus respectius preparadors i entrenadors.

Paraules clau: perfil, percentil, valoració, fisiològic.

Aspectes fisiològics del tennis

El tennis és un esport que requereix una activitat motora complexa i adaptativa, on s'alternen de manera aleatòria períodes variables de treball amb pauses. Les accions més rellevants es realitzen en alta intensitat i són de menys durada. Per això, és un esport en què participen diverses vies metabòliques; és un esport fonamentalment de base aeròbica amb participació puntual de les vies anaeròbiques, fonamentalment anaeròbiques alàctiques, tot i que la intensitat dels punts en joc determina la major o menor acumulació làctica.

Perquè es produeixi la contracció muscular, cal una aportació continua-

da d'energia a la fibra muscular. De la mateixa manera, es requereix una aportació d'energia addicional per a la seva relaxació. Aquesta energia prové sempre en darrer terme de l'ATP (adenosín-trifosfat), mitjançant la hidròlisi del darrer enllaç fosfat d'alta energia:

ADENOSINA - P - P - P (ATP) → ADENOSINA - P - P (ADP) + PI + ENERGIA

Durant un partit de tennis, l'aportació d'energia a les fibres musculars prové predominantment de les vies aeròbiques, com es pot veure a la taula 1 de freqüències cardíques.

Vies aeròbiques

Són vies relativament lentes, ja que requereixen l'activació de les *vies oxidatives* en la fibra muscular, constituïdes per un nombre considerable de reaccions metabòliques intermèdies. L'oxidació dels *substrates* (fonamentalment glucosa i àcids grassos) allibe-

PARTIT	ACCIÓ	FC (MITJANA)
21.4 %	JOC	155- 163 (MÀX. 178 - 180 / MÍN. 147 - 151)
68.7 %	ENTRE PUNTS	132 - 140
9.9 %	ASSEGUT	< 120

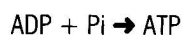
LACTADICÈMIA POST-ESFORÇ (MITJANA): 2-5 mmol/l

Taula 1. Evolució de la freqüència cardíaca durant un partit de tennis (FCT, 1992)

PERCENTIL	VO ₂ MÀX. (ml/kg/min.)	
	MASCULÍ	FEMENÍ
3	53.83	50.01
10	57.03	52.48
20	59.37	54.28
30	61.07	55.59
40	62.52	56.70
50	63.87	57.74
60	65.22	58.78
70	66.67	59.89
80	68.37	61.20
95	72.65	64.50

Taula 2. Consum màxim de oxigen en tennistes.
(Federació Catalana de Tennis, 1992)

ra energia utilitzable per a la síntesi d'ATP.



Després de les fases inicials d'esforç, els lípids subministren la major part d'energia que el múscul requereix, especialment en treballs prolongats d'intensitat submàxima. L'entrenament de tipus aeròbic afavoreix la utilització d'àcids grassos pel múscul i incrementa la capacitat de mobilització de les reserves greixoses.

El seu potencial de subministrament energètic és elevat, i només s'exhau-reix en contraccions intenses i sostin-gudes.

Per mantenir el metabolisme aeròbic, cal assegurar la suficient aportació de O₂ i de substractes al múscul actiu, la qual cosa implica, a més, adaptacions endocrines, neurovegetatives, cardio-vasculars i respiratòries.

Potència aeròbica màxima

La capacitat de l'organisme per rea-litzar un treball de llarga durada depèn de la possibilitat d'aportar, transportar i utilitzar l'oxigen. La potència aeròbi-ca màxima reflecteix la màxima quan-

titat de O₂ que l'organisme pot extreure de l'aire i utilitzar en els teixits per unitat de temps. El paràmetre indicador és el consum màxim d'oxigen (VO₂ màx.), expressat en valors absoluts (l/min.) o relatius al pes corporal (ml/kg/min.). Els valors que es poden observar per a l'esport del tennis apa-reixen a la taula 2.

Resistència aeròbica màxima

És la capacitat per mantenir un esforç durant un temps prolongat (entre 10 minuts i diverses hores). Qui té un me-canisme aeròbic més eficient paga més ràpidament el deute d'oxigen contret en els moments de màxim esforç i pot, per tant, mantenir durant més temps la millor eficàcia.

Durant un exercici dinàmic progressiu, el VO₂ augmenta linealment amb l'in-crement de les càrregues de treball, augmentant també la lactacidèmia i la ventilació pulmonar. Analitzant el comportament en el tennista dels pa-ràmetres derivats de l'intercanvi de ga-sos i de la lactacidèmia durant un es-forç progressiu, observem també una zona de transició entre un exercici pre-dominantment aeròbic i l'inici d'una

important participació del metabo-lisme anaeròbic.

Aquesta zona de transició constitueix l'anomenat llinar anaeròbic, i és el millor indicador de la resistència aeròbica. Correspon a la potència de treball, valorada en VO₂ i expressada en percentatge respecte del VO₂ màx., a partir de la qual el metabo-lisme aeròbic es fa insuficient per satisfer les demandes energètiques derivades de la contracció obligant a recórrer a les fonts anaeròbiques addicionals de subministrament.

El llinar anaeròbic pot ser estimat per diversos mètodes: llinar anaeròbic ventilador, llinar anaeròbic basat en el quocient respiratori, V-slope de Wasserman, llinar anaeròbic lactaci-dèmic, llinar anaeròbic segons fre-qüència cardíaca.

Procedència dels substractes durant el joc

Glucosa:

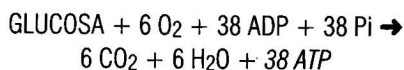
- d'origen muscular: emmagatzema-da en forma de glucogen.
- d'origen hepàtic: emmagatzemada en forma de glucogen o bé sinteti-zada a partir d'altres substrats (lactat, piruvat, alguns aminoàcids i glicerol procedent de la degradació d'àcids grassos).
- Ingerida durant l'execució de l'exercici (per exemple, begudes isotòniques).

Àcids grassos:

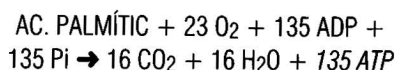
- Emmagatzemats en el múscul (re-serva minoritària, però d'utilització immediata).
- Emmagatzemats en el teixit adipós.

Mitjançant la *glucòlisi aeròbica*, la glucosa és oxidada completament fins a CO₂ i H₂O en presència d'oxigen, de

la qual cosa s'obté una elevada producció d'energia:



Els àcids grassos solament poden ser oxidats per via aeròbica, mitjançant la oxidació, fins a CO_2 i H_2O , originant a més productes intermedis que s'incorporaran a les vies de metabolisme dels hidrats de carboni. El seu rendiment energètic és molt superior al de la glucosa.



1 gram de glucosa proporciona 4 kcal, mentre que 1 gram d'àcids grassos proporciona 9 kcal. Per això, els àcids grassos s'utilitzen com a principal forma d'emmagatzemament calòric, ja que poden emmagatzemar un potencial energètic elevat en un pes relativament escàs.

Vies anaeròbiques

Metabolisme anaeròbic alàctic

El contingut en ATP de la fibra muscular és molt petit, la qual cosa només permet assegurar el subministrament d'energia a un jugador durant curts períodes de temps (de 2 a 5 segons, segons la intensitat de la contracció). Si la contracció s'ha de mantenir més enllà en el temps, és imprescindible reposar contínuament les reserves d'ATP.

Una via ràpida de resíntesi de l'ATP, pràcticament immediata, ve donada per la transferència de fosfats d'alta energia procedents de la *fosfocreatina*. La fosfocreatina constitueix una forma d'emmagatzemament de fosfats d'alta energia, susceptibles de

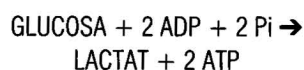
ser ràpidament transferits a l'ADP (adenosín-difosfat):



Les reserves musculars de fosfocreatina són limitades, tot i que 5 vegades superiors a les d'ATP, i pot proporcionar energia fins als 8 o 10 primers segons des de l'inici de la contracció. La restitució de les reserves de fosfocreatina es du a terme pel procés invers, quan el nivell d'ATP augmenta suficientment, generalment durant les fases de recuperació.

Metabolisme anaeròbic làctic: glucòlisi anaeròbica

La glucosa és metabolitzada sense la intervenció de O_2 , i s'obté lactat com a producte final, amb un rendiment energètic molt menor:



El lactat format durant l'entrenament o la competició és transportat en la seva major part via sanguínia al fetge, on és utilitzat per a la resíntesi de glucosa. També pot ser utilitzat en la mateixa fibra muscular com a font d'energia.

Les vies anaeròbiques làctiques únicament poden utilitzar glucosa com a substrat. Com que el contingut muscular del glucogen és petit, es pot exhaurir ràpidament. Les reserves de glucogen hepàtic són superiors, però no sempre es troben a disposició de la fibra muscular quan ha de treballar en condicions d'anaerobiosi.

Un exercici anaeròbic no es pot prolongar durant molt de temps perquè per la seva baixa rendibilitat origina un ràpid consum de les reserves de glucogen, i perquè davalla el pH intracel·lular originant inactivació dels enzims oxidatius, així com altera-

cions en la permeabilitat de la membrana cel·lular, cosa que porta ràpidament a la fatiga muscular. Les tècniques actuals d'entrenament en pista incideixen sobre la lactacidèmia, de manera que per a una mateixa potència de treball el subjecte entrenat produeix menys lactat (per això l'anàlisi de la lactacidèmia pot servir per valorar l'entrenament), i la tolerància muscular al lactat augmenta (poden suportar potències de treballs superiors).

Capacitat i potència anaeròbiques

En exercicis de curta durada la transferència d'energia depèn dels sistemes anaeròbics: metabolisme anaeròbic alàctic (ATP i fosfocreatina), i metabolisme anaeròbic làctic, que expressa la utilització màxima de fosfats d'alta energia i del glucogen, i està limitada per les reserves de fosfàgens (*capacitat anaeròbica alàctica*) i per les reserves musculars de glucogen (*capacitat anaeròbica làctica*). La velocitat màxima d'utilització d'aquestes reserves indica la *potència anaeròbica alàctica i làctica*, respectivament.

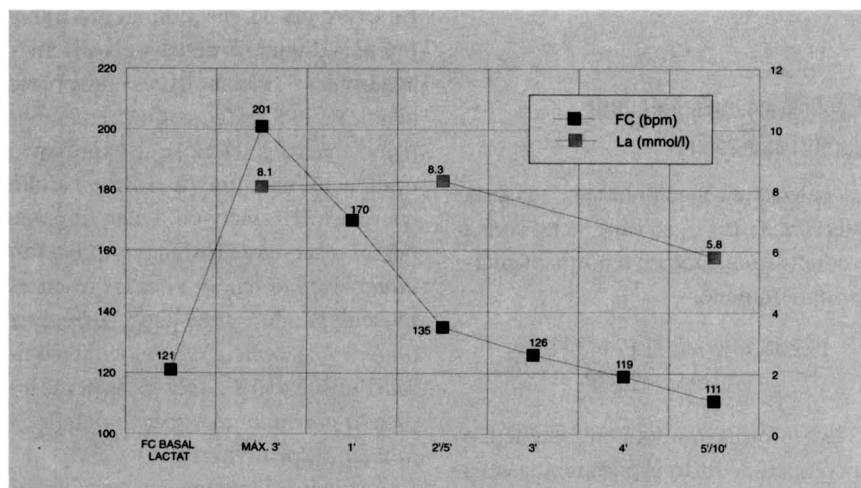
La capacitat i potència anaeròbiques són determinants en activitats que per la seva durada requereixen una aportació d'energia d'origen anaeròbic important:

- Activitats de potència: cops.
- Activitats anaeròbiques làctiques: punts.
- Activitats aeròbiques-anaeròbiques màximes: jocs.
- Activitats aeròbiques-anaeròbiques alternes: partits.

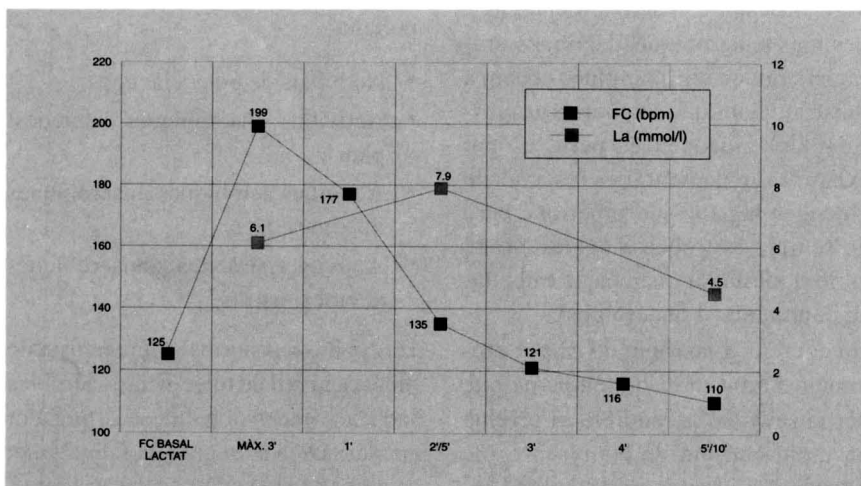
En condicions normals, un tennista no arriba a nivell de tolerància anaeròbica làctica i, excepcionalment, el jugador només arriba a un grau de fatigabilitat extrema en situacions de desavantatge. En el laboratori d'esforç analitzem les característiques anaeròbiques del juga-

PERCENTIL	POTÈNCIA ANAERÒBICA 30"	
	CADET	INFANTIL
3	100.67	105.59
10	104.76	110.11
20	107.76	113.42
30	109.93	115.82
40	111.78	117.86
50	113.50	119.77
60	115.23	121.68
70	117.07	123.72
80	119.24	126.12
95	124.72	132.17

Taula 3. Test de Wingate en tennistes. (Federació Catalana de Tennis, 1992)



Gràfic 1. Test de camp SV 200



Gràfic 2. Test de camp SV 200

dor, observant la seva resposta al test de Wingate, durant 30 segons. Els valors de la taula 3 han estat utilitzats amb criteris selectius de detecció d'aquestes qualitats en jugadors novells.

Mitjançant l'anàlisi seriat de lactacèmies postesforç, tant en competició com en entrenaments, comprovem el predomini del metabolisme aeròbic, deduït dels valors de lactat obtinguts, no gaire més elevats que els valors basals. Solament es van obtenir valors de lactat més elevats (tot i que sempre al voltant de 4 mmol/l) després d'un test específic de camp (màxima exigència física, similitud a les situacions reals de joc, i en què s'assoleixen límits d'esforç difícilment apreciables en competició). Dades contrastades amb el registre per telemetria de FC i proves d'esforç en laboratori per a la determinació individual del llindar anaeròbic (per descartar la possible influència de la cinètica del *clearance* de l'àcid làctic), confirmant d'aquesta manera l'escassa participació de les vies anaeròbiques làctiques en el tennis, sobretot per a jugadors joves (taula 4).

En tests de camp (SV 200) aplicats a jugadors professionals de tennis hem extret alguns resultats gràfics de la resposta làctica i de freqüència cardíaca (gràfics 1 i 2) que demostren la possibilitat de participació de la via anaeròbica làctica, sobretot pel que fa a la tolerància al lactat durant la competició.

Força muscular

Els indicadors de força en un jugador són de tres tipus:

1. Indicadors bàsics, com ara la *força màxima*, la *força mitjana* d'un determinat moviment, o el *moment d'una força*.

2. Indicadors integrals i *impulsos de força*, molt significatius en activitats d'impacte o copeig.

3. Indicadors diferencials o *gradient de força* (relació força-temps), que reflecteixen el nivell de desenvolupament de la força explosiva.

A la taula 5 s'expressen els valors dinamomètrics de laboratori, tant absoluts com relatius al pes corporal.

Per avaluar la força del tennista i la seva progressió podem utilitzar, perquè és fàcilment assequible, els nivells de força màxima isomètrica de totes dues mans, grups musculars dorsolumbars i extremitats inferiors. Indubtablement, els nivells obtinguts han de ser considerats sempre en funció de l'edat biològica del tennista. És un error important fonamentar els èxits esportius únicament en els nivells de força d'un jugador. Per tant, hem de rebutjar la idea d'un tennista "fort" fora del seu cicle de desenvolupament. Els valors descrits representen fidelment els criteris de millora, solament amb l'entrenament físic i tècnic, i també la corpulència innata del jugador. Per això, és interessant la utilització d'un índex dinamomètric relatiu al pes corporal del jugador, i que reflecteix de manera més fidel les modificacions originades pel creixement i el desenvolupament, i per l'entrenament (evolució individual), de la mateixa manera que facilita la comparació interindividual (taula 5).

Flexibilitat

La flexibilitat és el conjunt de qualitats morfològiques i funcionals que garanteixen l'amplitud dels moviments. Aquesta qualitat física s'identifica amb la mobilitat articular, una de les pre-

INTENSITAT EXERCICI	TEMPS MOSTRA (POSTESFORÇ)		
	1'	3'	35'
Competició			
Valors mitjans	1.6	1.4	1.3
Valors extrems	3.7	2.7	1.2
Entrenaments			
Intensitat mitjana	1.2	1.2	1.1
Intensitat elevada	1.4	1.4	1.1
Intensitat alta (Test de camp)	4.6	4.5	4.3

Taula 4. Lactacidèmies en tennistes (mmol/l)
(Federació Catalana de Tennis, 1992)

PERCENTIL	ABSOLUT (Kp)		RELATIU (Kp/Kg)	
	CADET	INFANTIL	CADET	INFANTIL
3	267.81	185.65	5.99	4.94
10	324.20	243.85	6.47	4.96
20	365.46	286.42	6.76	6.61
30	395.35	317.27	6.95	7.05
40	420.82	343.55	7.08	7.39
50	444.60	368.09	7.21	7.68
60	468.38	392.63	7.32	7.98
70	493.85	418.91	7.44	8.26
80	523.74	449.76	7.56	8.57
95	599.21	527.64	7.83	9.29

Taula 5. Índexs dinamomètrics
(Federació Catalana de Tennis, 1992)

misses indispensables per al perfeccionament tècnic, ja que una mobilitat articular insuficient limita la manifestació de les qualitats de força, velocitat i coordinació intramuscular i entre agonistes i antagonistes, i disminueix el rendiment del treball.

Cada disciplina presenta les seves exigències particulars en matèria de flexibilitat: és un factor de rendiment important en alguns esports (per exemple, gimnàstica), en altres la importància recau en determinades articulacions (per exemple, tennis, natació, esports d'equip), i en altres esports és una qualitat amb menor importància (per exemple, ciclisme). La flexibilitat permet un millor aprofita-

ment del component elàstic muscular, de gran incidència en els moviments de gran velocitat d'execució, ja que la major amplitud de moviments afavoreix la utilització de l'energia emmagatzemada per aquest a l'inici del moviment, i permet imposar les càrregues fins als angles extrems de l'arc del moviment.

És fonamental tenir en compte que qualsevol activitat esportiva exigeix un mínim de flexibilitat, ja que desenvolupa un paper actiu en la prevenció de les lesions, perquè facilita l'escalfament muscular i la preparació per al treball, constituint a més un mitjà efectiu de recuperació i relaxació després del treball muscular.

METABOLISME AERÒBIC	
ÍNDEX ERGOMÈTRIC	4.50±0.34
PWC 170	4.03±0.31
VO ₂ MÀX.	♂: 63.87±5.02 ♀: 57.74±3.86
METABOLISME ANAERÒBIC (TEST DE WINGATE)	
POTÈNCIA ANAERÒBICA 30"	CADET: 113.50±6.41 INFANTIL: 119.77±7.09
DINAMOMETRIA	
ÍNDEX DINAMOMÈTRIC	CADET: 7.21±0.61 INFANTIL: 7.68±1.37

Taula 6. Perfil fisiològic de tennistes joves
(Federació Catalana de Tennis, 1992)

Perfil fisiològic del tennista

La valoració fisiològica del tennista la podem dur a terme en el laboratori de fisiologia de l'esforç (ergometria) o en la mateixa pista (tests de camp). En el laboratori d'esforç, les variables que determinen els resultats es troben sota control estricte (ambient, instruments de mesurament, ergòmetres, etc.), per la qual cosa les proves són generalment més precises i fiables. En contrapartida, en el terreny de joc les variables són més difícils de controlar, però els tests són més específics, ja que el jugador es troba en l'ambient on està habituat a rendir, i l'activitat es realitza amb les seves característiques temporals i d'intensitat pròpies, i especialment amb les seves característiques biomecàniques específiques.

En els controls realitzats en tennistes en laboratori, podem observar els resultats reflectits a la taula 6. A la prova d'esforç per a la valoració del metabolisme aeròbic (prova triangular sobre cicloergòmetre, progressiva, màxima i amb anàlisis dels gasos espirats), valorem el consum màxim

d'oxigen (havent obtingut valors que contrasten amb la idea general de nivells baixos en el tennis, en comparació amb altres esports), l'índex ergomètric màxim (vats mobilitzats en el cicloergòmetre en relació amb el pes corporal), i la PWC 170 (com a reflex de la resistència física del jugador). El test de Wingate (valoració del metabolisme anaeròbic) ens donarà una idea del grau d'explosivitat del tennista, i és interessant de determinar l'índex de fatiga (especialment per als jocs llargs en ter-ra batuda) i la potència anaeròbica en els primers 5 segons del test, a més de la potència mitjana com a reflex indicatiu de la capacitat anaeròbica. I, finalment, observem l'índex dinamomètric, tant en valors absoluts, com relatius al pes corporal.

Eficiència del tennista

Dins la pràctica del tennis hem de distingir entre el tennis de formació i la pràctica professional. Aquesta última no està necessàriament relacionada

amb la pràctica remunerada, sinó que ja podem considerar com a tennistes professionals alguns jugadors des de la categoria cadet (14 i 15 anys), segons sigui el seu nivell esportiu.

Fase de formació

Durant aquest període l'augment de les qualitats fisiològiques és menys important, en favor de la maduració i formació equilibrada, juntament a la millora de la tècnica adquirida. En aquesta etapa hi ha períodes de descans per tal d'estructurar-la en cicles d'entrenament. No ens hem d'entossudir a canviar les qualitats fisiològiques de manera brusca, sinó que els hem d'aplicar un seguiment correcte.

Etapa professional

Durant aquesta etapa no hi ha períodes de descans, i es combinen la base física adquirida en les etapes prèvies juntament amb microcicles d'entrenament. Els entrenaments en aquesta etapa assoliran intensitats i característiques equivalents a les de la competició.

L'eficiència del tennista pot ser *funcional*, i és progressiva en els jugadors més joves i acumulativa en els professionals, i *anatòmica*, que serà considerada com a selectiva per als joves i adaptativa per als professionals (per exemple, relació de la talla amb el servei o de l'envergadura amb el cop de volea).

D'altra banda, l'aprofitament de les qualitats anatomofuncionals en el tennis dependrà de la conjunció d'altres factors tecnicotàctics, com el moviment/joc de peus, acceleració del braç, precisió i control, percepció de la trajectòria i velocitat de la pilota ("lectura de la bola"), entre altres.

Així doncs, en l'esport del tennis hem trobat un camp de treball on les característiques fisiològiques i anatòmiques varien en funció de l'aprenentatge de la tècnica. D'aquesta manera el tennis representa per a nosaltres un dels millors exemples per entendre que la millora esportiva dependrà de l'anàlisi multidisciplinari del jugador, i que els factors condicionants del rendiment en la pista no actuen separadament.

Bibliografia

- ASTRAND P.O., RODAHL K. *Textbook of work physiology*. Mc Graw-Hill International Editions. 3a Ed. New York, 1986.
- BARBANY CAIRÓ J.R. *Fundamentos de fisiología del ejercicio y del entrenamiento*. Barcanova. 1a Ed. Barcelona, 1990.
- COUSTEAU J.P. *Medicina del tenis*. Masson. 1a Ed. Barcelona, 1984.
- GALIANO OREA D. *La selecció de talents en tennis*. Paidotribo. 1a Ed. Barcelona, 1992.
- GUILLET R., et al. *Manual de Medicina del Deporte*. Masson. 2a Ed. Barcelona, 1985. Mellerowicz H.

Ergometría. Panamericana. 3a Ed. Buenos Aires, 1984.

PLATONOV V.N. *El entrenamiento deportivo. Teoría y metodología*. Barcelona: Paidotribo, 1993.

WASSERMAN K., et al. *Principles of exercise testing and interpretation*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1987.