

Fisiologia de l'exercici en l'infant i l'adolescent. Algunes consideracions

Dr. Joan Ramon Barbany *

En les edats infantil i peripuberal, les adaptacions a l'activitat física presenten particularitats específiques respecte a l'adult en els aspectes metabòlics, resposta cardíoc-vascular i respiratòria, comportament neuro-endocrí, etc., amb diferències més evidents com més petit és el noi. Sembla evident que en alguns sentits el noi presenta unes respostes comparables a les de l'adult, mentre que en d'altres substancialment en altres. Per això no és correcte considerar-lo en aquest sentit com un adult en miniatura (Borms, J., 1986). D'altra banda, cal saber en quina mesura la introducció de programes d'educació física escolar o, també en alguns casos, la participació en entrenaments intensius poden afectar les qualitats funcionals d'adaptació o alterar d'alguna forma el creixement pondero-estatural normal del noi. En aquest treball analitzem alguns aspectes essencials de tot això. Les consideracions que es puguin fer hauran de tenir en compte l'edat segons uns criteris biològics (grau de creixement sexual, estimació del nivell d'ossificació, dimensions corporals, etc.), més que no pas en un sentit cronològic. El fet de no atendre estrictament aquesta consideració pot ocasionar errors greus (Bar-Or, 1985).

1. Desenvolupament de força muscular i característiques del múscul

La força de contracció i el conjunt de qualitats del múscul depenen del grau de desenvolupament corporal, d'aspectes d'índole genètica i

* Joan Ramón Barbany, llicenciat en Biologia i doctor en Medicina, és professor de Fisiologia a la Facultat de Medicina de la Universitat de Barcelona i d'Higiene i Primers auxilis a l'INEF de Catalunya (Centre de Barcelona). Ha publicat, entre altres títols, Fisiologia de l'esforç (1983) i Fundamentos de fisiologia del Ejercicio y del Entrenamiento. (1990).

molt particularment de l'edat biològica del noi. La capacitat de generació de força és menor tant en termes absoluts com relatius, de manera que entre sis i divuit anys la força muscular augmenta força més del que es podria esperar en funció de la variació d'alçada (Shephard, 1982). Malgrat això, ni l'estructura ni la funció del múscul difereixen substancialment de l'adult. Els valors màxims de capacitat de generació de força contràctil no s'aconsegueixen fins bastant després de la pubertat (Asmusen, 1973), encara que amb variacions segons el sexe i depenent també d'altres factors intrínsecs (grup muscular considerat) i extrínsecs (nivell de sol·licitud exercida, hàbits alimentaris, etc).

2. Característiques metabòliques de l'adaptació a l'exercici físic en el noi i l'adolescent

2.1. La capacitat aeròbia màxima

Expressa l'aptitud per a l'execució de treballs de «resistència» i s'acostuma a expressar en funció del consum màxim d'O₂ (VO₂ màx) que es pot assolir:

a. Quan es valora en *termes absoluts* (L. min⁻¹ o mL. min⁻¹), va augmentant fins a la pubertat, d'una manera lenta però progressiva, amb diferències entre sexes molt petites o inexistentes. Amb l'«estirada puberal», el valor de VO₂ màx es dispara amunt en els nois, mentre que en les noies tendeix a estabilitzar-se, de manera que a partir de 16 anys el VO₂ màx de les noies se situa en valors pròxims al 70% del dels nois. Com que el desenvolupament puberal de les noies acostuma a ser més ràpid que els dels xicots, els màxims assolibles ja s'aconsegueixen a 16-18 anys, i fins i tot poden disminuir més tard, mentre que en els nois continuen augmentant ben bé fins a 18-20 anys (figura 1a).

b. Si l'estimació es fa —com és el més correcte— en *termes relatius* a la massa corporal (mL. min⁻¹, kg⁻¹), les diferències entre les diverses edats són més petites, encara que, per a poblacions d'una mateixa edat, les intersexe es troben augmentades. En les noies, el VO₂ màx relatiu acostuma a disminuir des de la pubertat a causa de l'increment de massa corporal a càrrec del major contingut gras. Per aquest motiu, en les noies s'arriba al màxim de potencial aerobi relatiu

immediatament abans de la desclosa puberal, cap a 12 anys (figura 1b).

2.2. Cost metabòlic del treball.

Encara que el «sostre aerobi» ($\dot{V}O_2$ màx) relatiu a la massa magra no difereixi substancialment entre nois i adults, la despesa energètica necessària per a l'execució d'un esforç determinat és considerablement superior, molt més com menor és l'edat (Skinner i col·lab., 1971), o el que és el mateix: l'«eficiència energètica» per executar una tasca determinada es veu disminuïda per diverses causes, entre les quals podem citar la menor eficàcia biomecànica del gest i la menor capacitat de coordinació sensori-motora. El cost metabòlic destinat a un esforç determinat millora substancialment amb l'edat, molt més com millor el noi pugui exercir la seva activitat motora espontània, o si no en té, a través de la participació en programes d'educació física escolar, gràcies a la millora progressiva en els nivells de coordinació motora; i encara és més evident, per als moviments exercitats, quan participa en programes d'entrenament esportiu de competició. El menor cost metabòlic d'un treball determinat permet augmentar el marge entre la màxima capacitat aeròbia i el cost metabòlic que s'ha invertit en l'execució. Així doncs, amb l'edat es va fent progressivament menor el risc de sobrepassar els valors de VO_2 màx en l'exercici físic (figura 2), cosa que es tradueix en una tolerància superior a l'exercici aerobi d'intensitat submàxima, en particular durant períodes prolongats de treball (Barbany, J.R., 1985).

2.3. Llindar aerobi i producció de lactat

a. *El llindar aerobi*, potència d'esforç a la qual el metabolisme anaerobi ha de recórrer per poder atendre les demandes energètiques que l'activitat física imposa, es veu notablement reduït amb l'edat. Així doncs, en el noi el risc de caure en anaerobiosi amb impossibilitat de prosseguir amb la mateixa intensitat de treball és molt més elevat que no en l'adult. Les causes principals del baix llindar anaerobi són la menor eficiència mecànica del moviment (ja comentada) i la menor tolerància a l'acidosi muscular i sanguínia. El metabolisme muscular infantil pot, en part, obviar a aquesta dificultat metabòlica, limitant al màxim la formació de lactat per disminució de l'activitat de les vies d'oxidació anaeròbia de la glucosa (Atomi, Y. i col·lab., 1986).

b. Per aquest motiu, en el noi i l'adolescent la *producció de lactat* per part del múscul en activitat en treballs d'intensitat comparable és menor que en l'adult. A més, la xifra de lactat en sang assolida després de l'execució de treballs de caràcter extenuant és clarament inferior, molt més com més petit és el noi (figura 3).

És a dir, a causa de la menor eficiència mecànica, el llindar d'anaerobiosi és més petit que el de l'adult, amb la qual cosa el risc de sobrepassar-lo a conseqüència d'un augment de la intensitat i potència d'exercici és elevat. Per aquest motiu, encara que el noi i l'adolescent siguin capaços de recórrer llargues distàncies a velocitats moderades (amb consums d'O₂ molt allunyats del llindar anaeròbic), no és possible sostenir gaire un ritme de cursa més viu: la baixa eficiència energètica acosta la despesa energètica al valor de llindar anaeròbic, i amb això augmenta el risc de superar-lo, especialment en exercicis prolongats.

2.4. Capacitat anaeròbia de treball

És clarament inferior a la de l'adult, tant si s'expressa en termes absoluts com relatius (figura 4) (Bar-Or, 1983) i de manera particular per al potencial anaerobi dependent del metabolisme làctic.

a. Les dificultats que el noi presenta per al *metabolisme làctic anaerobi* i que comprometen el seu rendiment en els exercicis, que en gran mesura en depenen, s'explica per diverses causes:

- *Menor activitat de la via glucolítica anaeròbia*. A favor d'aquesta interpretació trobem la menor formació de lactat, que ja hem comentat. Possiblement això sigui a causa d'una menor activitat funcional de la fosfofructoquinasa («enzim clau» de la glucòlisi) o d'altres enzims reguladors d'aquesta via (Erickson, B.O., 1972).

- *Menors reserves de glicogen muscular* (Poortmans, J.R., 1986).

- *Menor tolerància de la fibra muscular al lactat*, que a través d'un sistema de retroalimentació frena la seva pròpia producció, inhibint la glucòlisi anaeròbia (cit, per Bar-Or, O., 1983).

- *Menor tolerància a l'acidosi sanguínia* atribuïble a la menor capacitat tamponadora de la sang dels desequilibris àcids-base. Per això, com menor és l'edat, més gran la modificació del pH, en exercicis d'intensitat anàloga (Bar-Or, O., 1983).

b. En canvi, malgrat la manca de dades suficients referents a això,

sembla possible afirmar que la capacitat de subministrament energètic a càrrec del *metabolisme alàctic* (utilitzant les reserves musculars de fosfocreatina), és similar a la dels adults, per bé que, encara essent menor el rendiment mecànic que es pot obtenir, també ho són les expectatives de treball net realitzable (Pirnay i Crielaard, 1986).

Aquestes particularitats metabòliques expliquen en gran part el comportament motor espontani del noi, capaç d'efectuar moviments ràpids explosius de durada molt curta (que és atès pel *metabolisme anaerobi alàctic*), però incapaç de prosseguir més temps en aquestes activitats, atès que si eren de durada superior resultarien ja tributàries del *metabolisme làctic*, en el qual el noi és deficitari.

2.5. Adaptacions específiques compensadores

Davant d'aquestes limitacions en l'adaptació metabòlica, el nois i adolescents en exercici presenten sistemes peculiars propis que permeten una certa compensació; això explica la relativa millora en la tolerància respecte al que en principi fóra d'esperar:

- *Alta velocitat de transició al metabolisme aerobi*, considerant com a tal el temps necessari per assolir el consum d'O₂ corresponent a una potència d'esforç determinada. D'aquesta manera, en exercici màxim, hi ha nois de deu a dotze anys capaços d'aconseguir fins al 50% del VO₂ necessari només en 30 segons, mentre que els adults, en el mateix temps, només han pogut arribar al 25% del total requerit (Macek, M., 1986), i, per consegüent, el temps transcorregut per arribar als valors de consum d'O₂ corresponents a una determinada potència d'esforç és menor en el noi que en l'adult (figura 5). D'aquesta manera es pot reduir considerablement el temps i la importància relativa del *metabolisme anaerobi làctic* inicial (per al qual el noi no està gaire preparat), a favor del *metabolisme aerobi*.

- *Més capacitat d'extracció d'O₂ a nivell dels territoris actius* (figura 6), que juntament amb el nivell d'irrigació sanguínia proporcionalment més gran, que es realitza més endavant, permet una compensació relativa de les menors disponibilitats energètiques existents.

- També s'ha assenyalat com a possibilitat una *reserva major d'O₂*, especialment si es considera en termes relatius al conjunt de la massa muscular, en diferents territoris: pulmons, transportat per la sang, present al múscul, etc. (Macek, M. i Vavra, J., 1977).

En síntesi: el baix potencial metabòlic anaerobi làctic i les limitades possibilitats de generar deute d'O₂, juntament amb la bona adaptació a l'exercici aerobi, fan que, per fer rendible al màxim les seves possibilitats metabòliques, el noi atengui les demandes metabòliques de l'exercici afavorint les vies oxidatives aeròbies. Per això, la capacitat dels nois per desenvolupar activitats físiques que no excedeixin el 60% de l'aptitud aeròbica màxima és semblant a la de l'adult. Pel que fa a l'exercici anaeròbic alàctic, tributari metabòlicament de reserves d'energia de disposició immediata (fosfocreatina), les expectatives són comparables a l'adult, amb la qual cosa la seva capacitat d'efectuar moviments de caràcter explosiu és semblant.

3. Resposta càrdio-vascular a l'exercici físic en el noi i l'adolescent

La resposta càrdio-vascular a l'exercici físic en el noi i l'adolescent es descriu com «hipocinètica»: respecte a un valor determinat de consum d'O₂, la despesa cardíaca (volum de sang impulsat pel cor per unitat de temps) necessària és significativament més petita que en l'adult. Això s'explica per diferents causes: menor consum d'O₂ dels territoris no actius, menor extracció d'O₂ en el múscul en contracció i potser menors demandes de la termoregulació.

3.1. Paràmetres funcionals: despesa cardíaca (volum minut cardíac), volum sistòlic d'expulsió i freqüència cardíaca en el noi en activitat física

Els condicionaments hemodinàmics del noi i l'adolescent l'obliguen a adoptar una tipologia pròpia de resposta, en la qual l'increment de la despesa cardíaca s'obté essencialment per l'augment de la freqüència. D'aquesta manera, per atènyer el mateix valor de consum d'O₂, un noi de deu anys necessita el doble de pulsacions per minut que un xicot de disset. Una cosa semblant ocorre en la recuperació, de manera que la suma de les pulsacions fins a recuperar la freqüència de repòs és tres cops superior en el noi. Les dimensions, més petites, de les cavitats cardíagues només permeten d'augmentar el flux d'expulsió de sang del cor per increment de la freqüència. Aquesta situació ja es fa evident en estats de repòs, en els quals la freqüència cardíaca és molt superior

a la de l'adult (taula 1) i en condicions d'esforç extenuant: la freqüència cardíaca màxima assolible també és molt superior (aproximadament la xifra de 220-edat).

L'elevada freqüència a què ha de treballar el cor del noi fa que, malgrat la superior freqüència màxima, la diferència entre l'una i l'altra sigui petita i que es redueixi el «marge de seguretat», encara a treballs submàxims, amb un risc important de fatiga per incapacitat del sistema càrdio-vascular, especialment en nois amb baixa activitat física o que no segueixen un programa d'educació física correcte. Amb l'entrenament, tal com analitzarem més endavant, la resposta càrdio-vascular a l'exercici millora substancialment i per això són molt més grans les possibilitats de què es disposa per atendre les demandes i la tolerància a l'esforç. A la figura 7 analitzem el comportament funcional dels principals paràmetres càrdio-vasculars d'esforç a diferents potències de treball en dos grups de nois.

3.2. Flux sanguini muscular

Els territoris musculars actius presenten un flux sanguini superior al de l'adult, que n'afavoreix la capacitat de treball i en compensa les limitacions càrdio-vasculars esmentades (figura 8). Amb l'edat, el flux sanguini en els territoris actius tendeix a fer-se progressivament menor. No obstant això, el flux sanguini post-esforç es manté relativament igual, independentment de l'edat considerada. És possible que, com s'esdevé en els adults entrenats, a mesura que augmenta l'edat augmenti l'activitat mitocondrial dels territoris actius, la qual cosa permetria de reduir la necessitat d'un major flux pel millor aprofitament de l'O₂ (Koch, G. i Fransson, L., 1986).

3.3. Modificacions de la pressió arterial en l'exercici

Per bé que en els valors absoluts atesos hi ha diferències, el comportament qualitatiu de la pressió arterial en l'exercici en el noi no difereix substancialment de la de l'adult. La gràfica d'evolució de la P màx i la P mín al llarg de l'esforç és molt semblant.

A la taula 2 es presenten els principals aspectes relatius als paràmetres hemodinàmics centrals i perifèrics en la resposta comparada entre nois i adults.

4. Resposta respiratòria a l'exercici físic en el noi i l'adolescent

4.1. Paràmetres de la funció respiratòria (ventilació pulmonar)

De manera semblant al que s'esdevé en l'adult, l'adaptació respiratòria a l'exercici és satisfactòria, i no pot ser considerada (en el supòsit que no hi hagi alteracions patològiques) factor limitador de la intensitat d'esforç (Barbany, J.R., 1990). Com en l'adult, la corba d'evolució de la ventilació pulmonar, a potències d'esforços creixents, presenta una relació exponencial, cosa que fa evident una adaptació correcta. El que sí que varia és la tipologia de la respiració, en què la major ventilació s'aconsegueix de manera similar a la despesa cardíaca, a càrrec d'una freqüència superior de moviments respiratoris, amb poca modificació dels volums d'aire recanviats a cada moviment, a causa de les limitacions estructurals de l'aparell respiratori. Per això, també la freqüència respiratòria màxima assolible en exercicis intensos, en el noi és molt més alta que no pas en l'adult.

4.2. Cost metabòlic de la respiració (equivalent respiratori)

Aquesta mena de resposta augmenta el cost energètic de la respiració, que en el noi és relativament important, en condicions d'esforç màxim. La forma més comuna d'estimació és l'anomenat «equivalent respiratori», relació entre la ventilació pulmonar i el volum d'O₂ incorporat per la unitat de temps. Com més elevat és aquest paràmetre, més aire recanviat amb l'entorn hi ha d'haver per poder obtenir un determinat volum d'O₂, i, per consegüent, menor serà l'eficiència energètica del procés. En els nois, l'equivalent respiratori en repòs i davant l'exercici es veu incrementat notablement respecte a l'adult; això tradueix aquesta menor capacitat funcional. En la pràctica, a partir de 16 anys no hi ha diferències notables entre els valors amb l'adult.

5. Altres peculiaritats: modificacions del caràcter hídric, termoregulació i sensibilitat a la fatiga

a. La *sensibilitat al fred i a la calor* és considerable, atesa la labilitat tèrmica provocada per la immaduresa dels centres termoreguladors. El noi, i molt més com més petit, presenta una sensibilitat més gran al fred, afavorida per la magror del pannicle adipós, i també al fred, contràriament al que sembla que caldria esperar en una primera aproximació, a causa de la major superfície corporal relativa (Shepherd, 1982). La dificultat a transportar l'excés de calor cap a la pell, la menor densitat relativa de les glàndules sudorípares per unitat de superfície i la relativa immaduresa del centre termoregulador són els factors més importants per explicar aquest alt nivell de risc d'hipertèrmia i la freqüència amb què pot aparèixer la condició de fatiga per calor, especialment en condicions climàtiques desfavorables i hidratació insuficient (Poortmans, J.R., 1986).

b. En general, el *balanç de fluids* és deficitari, i el risc de deshidratació, important; aquesta deshidratació és causada per la inadequada adaptació a la calor i per la immaduresa dels centres reguladors, especialment en nois petits, que es tradueix objectivament en una menor sensació de set, que no correspon a la demanda real. Per això, és imprescindible forçar la ingestió de fluids abans de l'exercici, mentre se'n fa i després.

Per aquests motius, el noi és especialment sensible tant als riscos d'aparició i manifestació de la calorada o cop de calor com a la hipotèrmia (Sloan i Keatinge, 1973), per la qual cosa és convenient d'extremar les precaucions quan l'activitat física intensa té lloc en condicions climàtiques poc favorables. Això permet establir unes consideracions pràctiques útils:

- L'American Society of Pediatrics (1982) recomana una hidratació correcta del noi abans de la pràctica esportiva competitiva, i l'adequada reposició hídrica en el transcurs de la prova, si les condicions ambientals són inadequades per l'excés de calor, de manera que cada 15-20 minuts ha de beure de 100 a 150 ml de líquid, independentment de la sensació de set. El contingut recomanat de soluts no ha de ser superior a 0,3 g de NaCl, 0,35 g de KCl i 2,0 g de glucosa per cada 100 ml.

- Durant la pràctica de la natació a temperatures d'aigua inferiors a 23°C, s'ha d'obligar els nens a sortir de l'aigua cada deu o quinze minuts, a fi de tornar a escalfar l'organisme.

- Quan s'organitzi una prova atlètica en què participin infants, s'ha de preveure que tenen una sensibilitat superior a les temperatures elevades, i, ajornar-la si cal, fins a les hores que no faci tanta calor.

- Un comentari especial el mereix la diferent *sensibilitat a la fatiga* que hi ha entre nois i adults, ço que posa en evidència la menor consciència subjectiva i la menor percepció, força més limitada com menor és l'edat.

6. Efectes de l'entrenament físic sobre les qualitats físiques i d'adaptació a l'organisme en nois i adolescents

La manca d'estudis de seguiment longitudinal i les diferències en els protocols d'entrenament seguits són responsables que el coneixement dels efectes sobre l'organisme infantil del seguiment de programes d'entrenament sigui, pel que fa a les modificacions induïdes, relativament escàs. A més, convé distingir entre l'entrenament intensiu que segueixen alguns nois i joves practicants esportius de competició i el seguiment de programes escolars o extrascolars d'educació física general més o menys intensa o específica respecte a determinats esports.

6.1. Efectes del seguiment d'un programa d'educació física escolar

Els efectes de la pràctica esportiva lúdica o l'educació física escolar sobre l'organisme i la seva adaptació a l'exercici del seguiment són lleugers. Essencialment, aquesta mena d'activitats tenen com a objectiu permetre el desenvolupament harmònic de les habilitats i aptituds motores i esportives del noi, per la qual cosa, en general, es concreten a permetre la lliure expressió dels potencials de desenvolupament físic i qualitats corporals del noi, incorporades al seu potencial genètic i evolutiu.

a. Sobre el creixement ossi. Hi ha una relativa controvèrsia pel que fa al nivell d'incidència de l'activitat física en la infantesa sobre creixement i desenvolupament pondo-estatural. Algunes investigacions semblen afirmar una millor evolució d'aquests paràmetres, mentre que en altres no sembla tan evident. Els experiments efectuats amb animals demostren que l'estímul del moviment és essencial durant

l'edat de creixement per aconseguir que s'arribi a les expectatives genètiques de desenvolupament i creixement estatural. Tot i amb això, el nivell d'activitat necessari és satisfet amb escreix per l'activitat espontània, sense resultar modificat per l'adopció i seguiment de programes d'educació física escolar. L'increment progressiu de la talla registrat al llarg de les dues últimes generacions, que pot ser estimat aproximadament en uns deu centímetres, s'atribueix a la millora substancial de l'alimentació i també a la progressiva millora en la satisfacció dels requeriments en plàstics i calòrics. En un altre sentit, sí que podem atribuir influències als entrenaments intensius destinats a preparar-se per a l'activitat de competició, que constitueixen una altra problemàtica, diferent de la que analitzarem més endavant. Avui sembla força clar que la mera activitat física, ni que sigui intensa, no potencia per ella mateixa el desenvolupament de les dimensions corporals (Borms, 1986), per bé que és imprescindible per atènyer-les, influència que ha de ser compartida d'acord amb els potencials genètics i els aspectes de la nutrició.

b. Sobre el creixement muscular. L'activitat física i l'edat augmenten la massa muscular i, en general, milloren les funcions musculars; també s'incrementen la força muscular, la velocitat de la contracció i la resistència a la fatiga. Sorprenentment, hi ha estudis (Heebol-Nielssen, 1982) que obtenen resultats desiguals, amb disminució progressiva de la força de contracció en el seguiment de poblacions infantils des de 1956 a 1981. Probablement en aquest cas, per bé que havia millorat el contingut dels programes d'educació física escolar, la reducció progressiva del temps lliure per a activitats espontànies dels nois va determinar l'aparició de disminucions en la totalitat de paràmetres de força de diferents grups escolars. Aquests efectes no són atribuïbles només al mer desenvolupament superior de la massa muscular, cosa fàcil de comprovar seguint la gràfica de correlació entre modificacions de la força i magnitud de la massa muscular en edats diferents. D'aquesta manera es comprova com en nois de sis a divuit anys que segueixen un nivell important d'activitat física, el pes de la massa muscular augmenta un 50%, mentre que la força ho fa un 200%. També milloren l'elasticitat i la coordinació motora i s'ateny una major eficiència biomecànica.

6.2. Efectes de l'entrenament intensiu

Més importants com més aviat s'inicia, també depenen de la

intensitat i de la duració. Són efectes que evidencien grans diferències segons quin hagi estat el model seguit, encara que es poden establir alguns esquemes generals:

a. Sobre el *creixement ossi i pondo-estatural*, els efectes acostumen a ser poc significatius, si bé de vegades s'accepta que l'inici precoç d'entrenaments intensius de força en nois que no han completat el desenvolupament ossi pot ser responsable d'un efecte de soldadura precoç dels cartilags de creixement i alterar, d'aquesta manera, els paràmetres de creixement. No obstant això, també ocasionalment, sobretot en adolescents, s'ha assenyalat un desenvolupament superior atribuïble a l'efecte anabolitzador de l'exercici d'aquestes característiques.

En principi, es pot afirmar que el seguiment de programes d'entrenament intensiu de la força muscular en edats primerenques, especialment si es tracta d'exercicis en els quals es desplega un alt grau de tensió muscular durant períodes curts en els quals hi ha un grau desmesurat de participació del sistema osteo-articular, no sembla gaire aconsellable, a la vista de la sospita, que en certs casos es confirma, d'alteracions derivades de la pràctica física excessiva en aquests models que es manifesten com deformitats més o menys greus de l'estàtica vertebral normal, i fins i tot degeneracions artròsiques, que es poden manifestar uns quants anys més tard, quan es completa el creixement o disminueix o cessa la intensitat de l'entrenament. D'aquí ve, doncs, la necessitat ineludible de procedir a un seguiment adequat i permanent del creixement ossi i morfològic de l'atleta infantil, a fi de preveure i corregir l'aparició d'aquestes anomalies freqüents. En tot cas, entre nois pre-púbbers sembla oportú d'evitar els treballs de musculació de caràcter isomètric i el treball de pesos amb resistències considerables. Tot amb tot, no hi ha pas cap evidència clara que en la major part d'entrenaments intensos es puguin produir efectes nocius a nivell dels paràmetres morfològics ni funcionals corporals normals (Borms, 1986).

b. Pel que fa al *desenvolupament muscular*, les modificacions són importants i inclouen aspectes quantitius amb vista a una major massa muscular assolida, i qualitius, amb augment de la força de contracció, velocitat de resposta, elasticitat i flexibilitat, etc. Pel que fa a l'aspecte metabòlic en el múscul es produeixen adaptacions molt semblants a les que s'observen en els adults, és a dir, un augment del nombre i el volum de les mitocòndries, augment de les reserves de glicogen i de fosfocreatina, augment de l'activitat enzimàtica oxidativa, increment del flux sanguini muscular i del coeficient d'extracció d'O₂, efectes variables, tots plegats, en funció del model d'entrena-

ment (Barbany, J.R., 1989). Una qüestió interessant fa referència a la incidència que l'entrenament precoç pot tenir sobre les característiques miotipològiques del noi. Contràriament al que es cregué de bon començament, avui sembla clar que les característiques miotipològiques del nadó difereixen de les de l'adult i que, probablement, el model d'entrenament seguit pot influir decisivament en la diferenciació miotipològica. Si era així, és evident que la instauració de l'entrenament precoç, al marge d'altres consideracions ètiques o també filosòfiques, seria de gran utilitat pel que fa a la possibilitat d'assolir expectatives de rendiment màxim de l'adult.

c. Els *aspectes metabòlics de l'exercici* també es veuen influïts, amb millora dels paràmetres funcionals de l'exercici aerobi, en l'entrenament d'aquestes característiques, amb increment del VO_2 màx, en les poblacions de nois i adolescents entrenats respecte a les de no entrenats. Aquest augment és molt més substancial en percentatges com més gran és el temps i la intensitat de l'entrenament seguits (figura 9), tot i que les dades més recents semblen suggerir que l'augment del VO_2 màx en nois més petits de deu anys sotmesos a entrenaments aerobis no és tan considerable com semblaven indicar les investigacions prèvies (Borms, 1986), mentre que els seus efectes són especialment espectaculars a les edats puberals (Kemper, H.C.G., 1985). En les noies disminueix de forma considerable el descens de potencial aerobi absolut i relatiu a la massa corporal propi de la pubertat.

Millora l'eficiència energètica augmentant el «marge de seguretat» metabòlic entre cost energètic de l'esforç i aptitud aeròbia màxima, i es produeix una millora relativa del llindar d'anaerobiosi i del potencial anaerobi. Com la resta de qualitats físiques i metabòliques, els efectes de l'entrenament depenen en gran manera de les seves característiques.

d. Sobre el *sistema cardío-vascular*

- Els estudis comparatius entre nois sotmesos a entrenaments d'endurança al llarg de períodes no inferiors a un any fan evident, respecte a la població de nois no específicament entrenats, unes modificacions del sistema cardío-vascular amb hipertròfia cardíaca en entrenaments prou intensos, molt més importants com més precoç, intens i gran hagi estat el temps d'entrenament seguit, de tipologia semblant a la de l'adult (augment de les dimensions principals de les cavitats internes ventriculars); això vol dir augmentar el volum d'ompliment i expulsió de la sang i disminuir la freqüència cardíaca necessària per atendre les demandes derivades d'una determinada intensitat d'esforç. Les proves indirectes de seguiment del nivell

d'entrenament pròpies dels adults també es poden, doncs, aplicar als nois, després de les correccions oportunes.

Aquest fet ha de ser oportunament tingut en compte, perquè de vegades les modificacions dels diàmetres de les cavitats ventriculars són detectables per electrocardiografia i especialment amb les tècniques ecocardiogràfiques actuals, i poden fàcilment ser considerades patològiques, en el supòsit que no hi hagi el coneixement adequat del factor d'un entrenament previ important (Mevdev i col·lab., 1986). També, comparablement al que s'esdevé en l'adult, augmenta el volum total de sang circulant i milloren substancialment el reg sanguini coronari i muscular. Disminueix així mateix la pressió arterial mitjana requerida per a l'execució d'un exercici determinat, motiu pel qual, i semblantment al que s'esdevé en l'adult, l'entrenament aerobi d'endurança pot ser indicat en el tractament de certes formes lleus d'hipertensió arterial idiopàtica (Hagberg i col·lab., 1980).

- Els efectes de l'entrenament de força sobre els paràmetres càrdio-vasculars són relativament poc coneguts, en part a causa que es creu que aquest model d'entrenament practicat amb un grau suficient d'intensitat pot produir alteracions en el creixement normal del noi, i per això no sembla recomanable, en general, iniciar-lo precoçment.

e. Sobre el *sistema respiratori*. Els efectes de l'entrenament aerobi provoquen un augment substancial dels paràmetres ventilatoris, que tradueixen la millor adaptació respiratòria a l'exercici, s'evidencien per la clara disminució de l'equivalent respiratori que es registra i que tradueix el menor cost metabòlic del treball pulmonar.

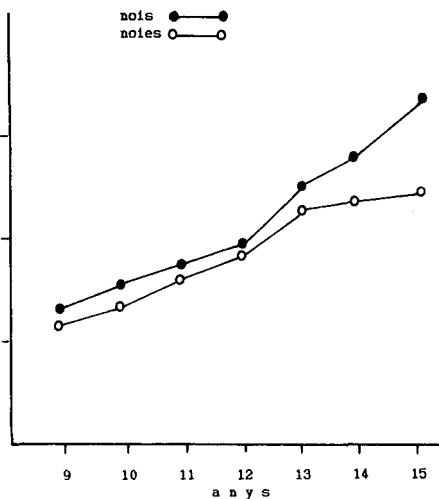
Taula 1. Freqüència cardíaca de repòs en edats diferents

edat	nadó	1	5	10	20	30	40	50
freqüència	140	115	98	87	75	70	49	65

Taula 2.

Funció	Resposta en nois i joves
freqüència cardíaca (treball submàxim)	elevada (en especial fins a deu anys)
freqüència cardíaca (treball màxim)	elevada
força de contracció (treball màx i submàx)	menor
despesa cardíaca	lleugerament menor (resp. hipocinètica)
diferències artèrio-venoses d'oxigen	lleugerament superior
flux sanguini en territoris actius	superior
pressió arterial màx i mín (treball màx i submàx)	menor

$VO_2 \text{ màx}$
($L \cdot \text{min}^{-1}$)



b)

$VO_2 \text{ màx}$
($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)

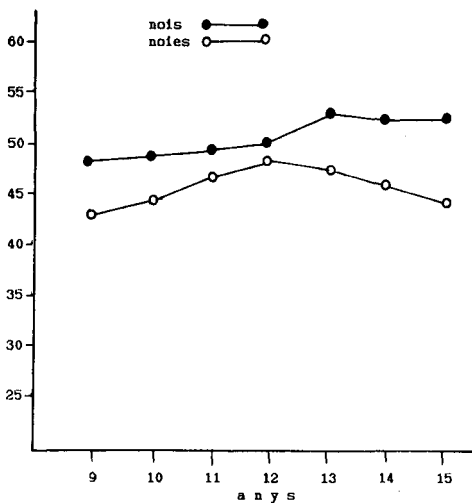
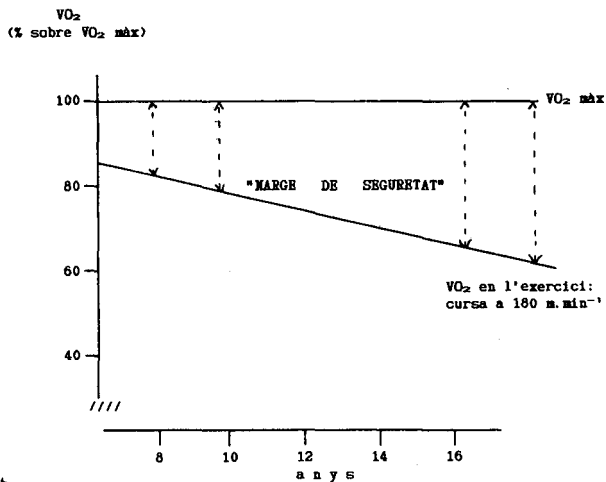


Figura 1. Evolució del $VO_2 \text{ màx}$ en funció de l'edat:
a. en termes absoluts
b. en relació amb la massa corporal
(preses de Mercier, J. i col., 1986)

a)



b.

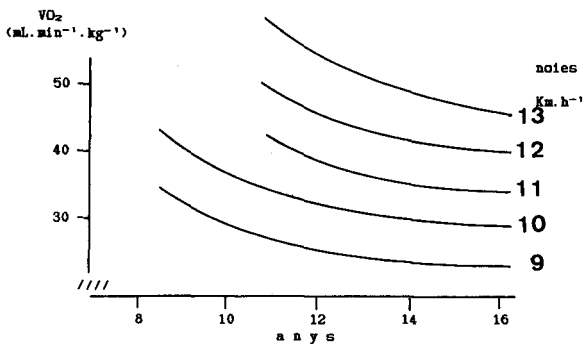
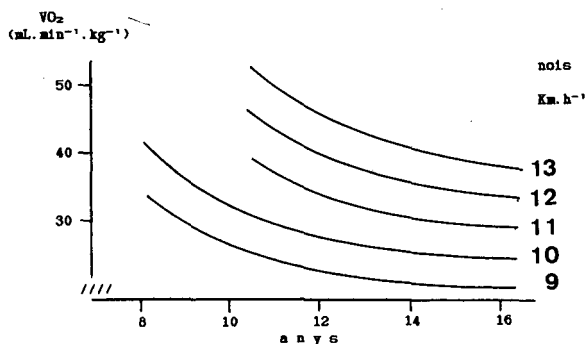


Figura 2. Evolució del cost metabòlic del treball en funció de l'edat:

a. la menor demanda d'O₂ per a l'execució d'un esforç determinat permet d'augmentar la «reserva d'O₂», és a dir, la diferència entre el volum consumit i el màxim assolible (VO₂ màx), el qual fet millora la tolerància a l'exercici submàxim

b. Cost metabòlic a diferents edats i velocitats de cursa en noies. Amb l'augment de l'edat, cada cop és més petita la despesa energètica, ni que la massa sigui, lògicament, progressivament superior.

lactacidèmia
(sang venosa)
mMol. l

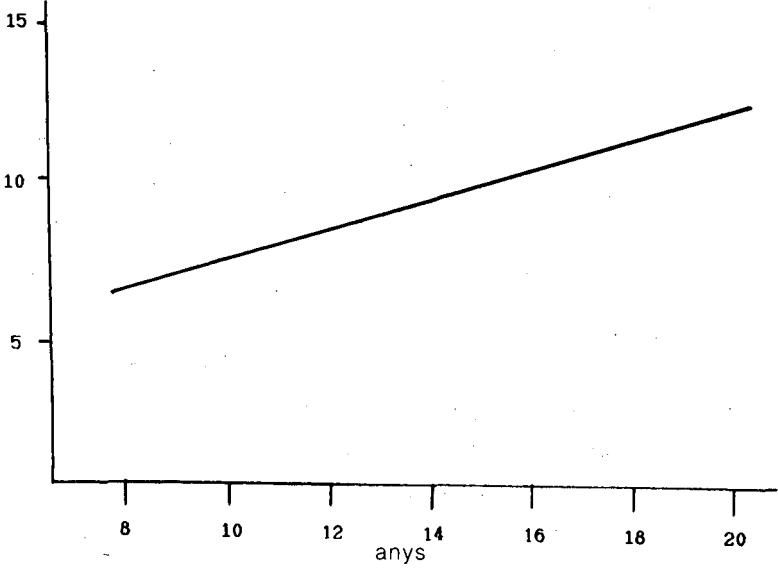


Figura 3. Valors d'àcid làctic en sang venosa, després d'exercicis físics extenuants (presa de Kemper, H.C.G., 1985)

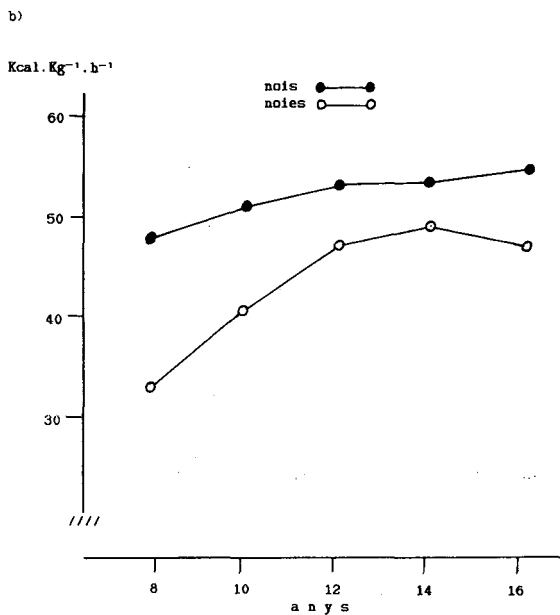
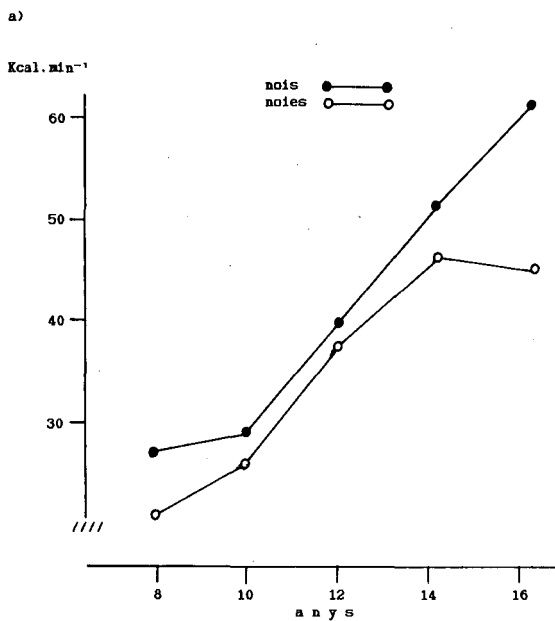
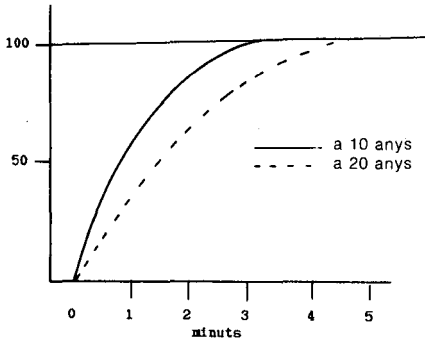


Figura 4. Evolució del potencial anaerobi màxim valorat per mitjà de l'«step test de Margaria», en funció de l'edat:
 a. expressat en termes absoluts (Kcal, min-1),
 b. expressat en termes relatius a la massa corporal (Kcal, Kg-1, h-1)
 (preses de Bar-Or, O., 1983)

captació d'oxigen
(%sobre el màxim requerit)



diferència arteriovenosa
en concentració d'oxigen

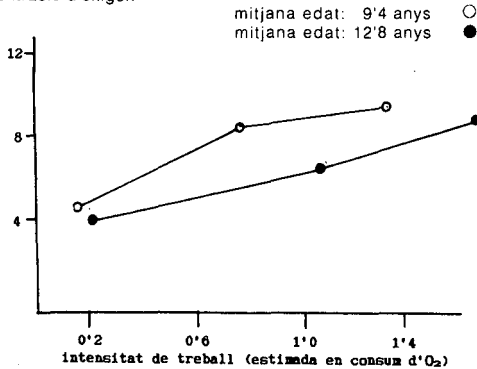


Figura 5. Dèficit inicial d'O₂ en nois i adults. La ràpida adaptabilitat a les demandes requerides permet de reduir al màxim possible el risc d'anaerobiosi per aportació insuficient d'O₂ a l'organisme

Figura 6. Diferències de concentració artèrio-venosa d'oxigen en treballs d'igual intensitat (valorada en consum d'oxigen) en dos grups de nois d'edats diferents

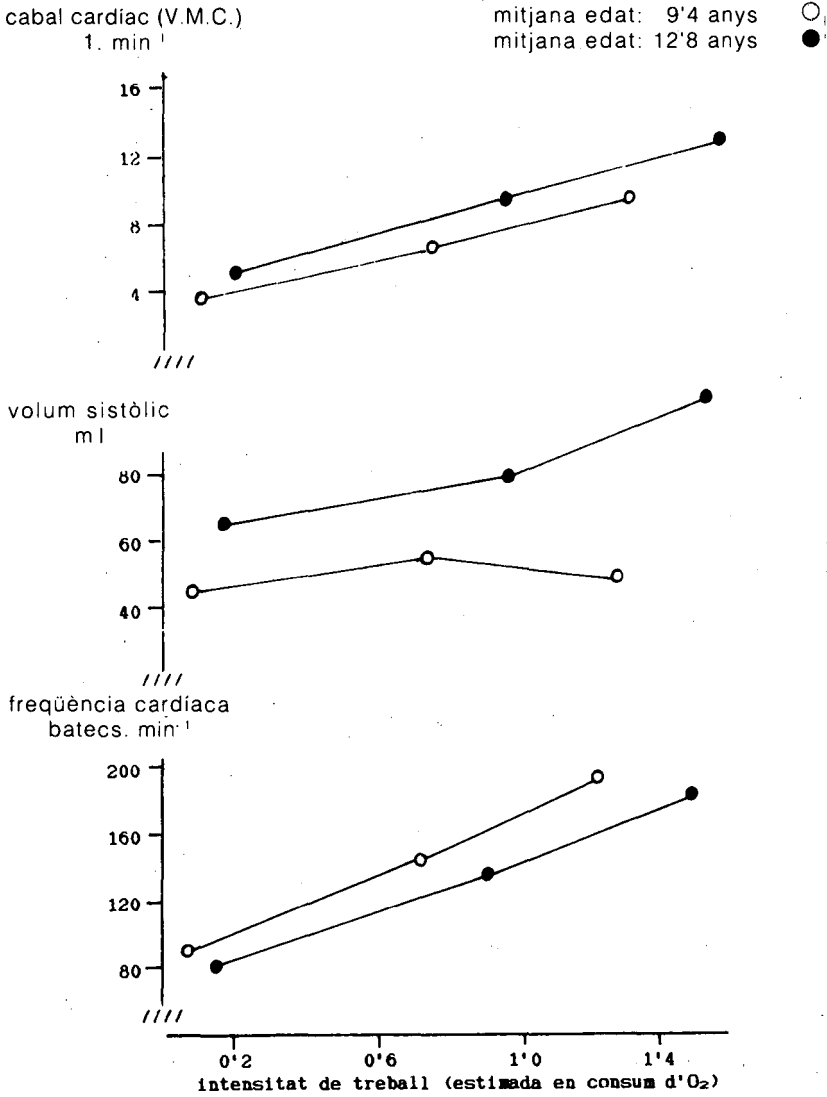


Figura 7. Paràmetres hemodinàmics davant d'exercicis d'intensitat diferent en dos grups de nois d'edats diferents

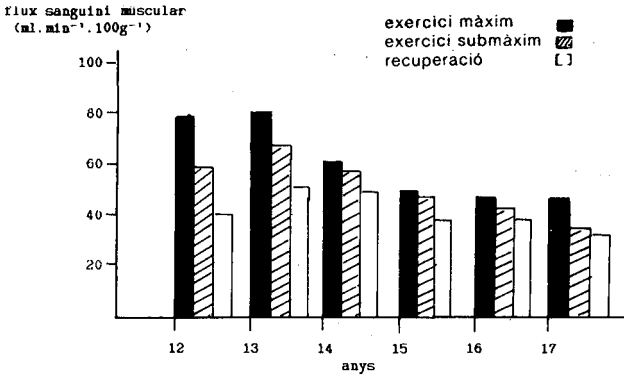
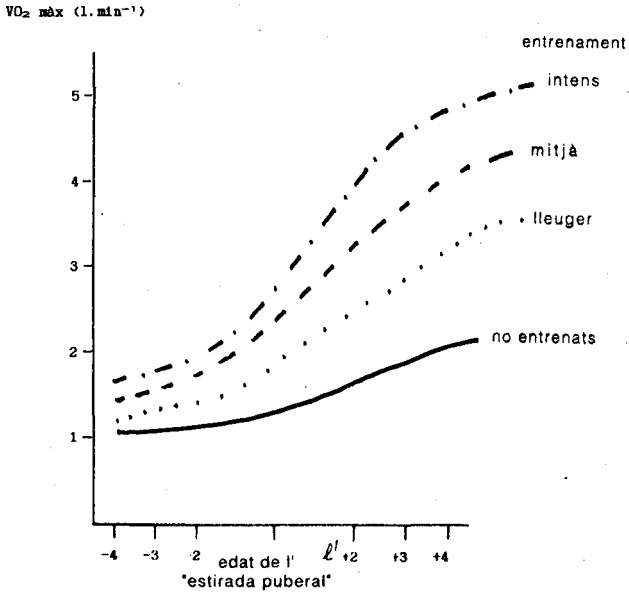


Figura 8. Flux sanguini muscular en el múscul vast lateral (valors mitjans de les cames dreta i esquerra) durant exercici submàxim, màxim i en la recuperació, a edats diferents (adaptada de Koch, G. i Fransson, L., 1983)

Figura 9. Modificacions del VO₂ màx en funció del nivell d'entrenament, en edats diferents. És manifesta la diferència que apareix a l'edat corresponent a l'«estirada puberal» (presa de Kemper, H.C.G., 1985)

Bibliografia

- AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS. Committee on Sports Medicine. Position Statement: «Climatic heat stress and the exercising child». *Pediatrics*, 69, 808-809 (1982)
- ATOMI, Y., FUKUNAGA, T., YAMAMOTO, Y. i HATTA, H. «Lactate threshold and VO_2 max of trained and untrained boys relative to muscle mass and composition». *Children and Exercise XI. International Series on Sport Sciences* (vol, 15) pàg. 53-58. Ed. per Binkhorst, R.A., Kemper, H.C.G. i Saris, W.H.M. Human Kinetic Pub, Champaign, Illinois, 1985.
- ASMUSEN, E. «Growth in muscular strength and power». *Physical activity human growth and development*. Ed. per L. Rarick. Academic Press, Nova York, 1971.
- BARBANY, J.R., dins *La educación física en las enseñanzas medias AAVV*. Ed. Paidotribo. Barcelona, 1985.
- BARBANY, J.R. «Adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento». *JANO*. Núm 35, pàg. 65-81 (1989).
- BARBANY, J.R. *Fundamentos de Fisiología del Ejercicio y del Entrenamiento*. Ed. Barcanova. Barcelona, 1990.
- BAR-OR, O. *Pediatric Sport Medicine for the Practitioner*. Springer Verlag, Nova York, 1983.
- BAR-OR, O. «Some notes on physiological and medical considerations for exercise and training of children». *Children and Exercise XI. International Series on Sport Sciences* (vol 15), pàg 346-353. Ed. per Binkhorst, R.A., Kemper, H.C.G. i Saris, W.H.M., Human Kinetic Pub, Champaign, Illinois, 1985.
- BORMS, J. «The child and exercise: an overview» *J. Sports Sci.*, núm 4, pàg 3-20 (1986).
- ERIKSON, B.O. «Physical training, oxygen supply and muscle metabolism in 11-13 years old». *Acta Physiol. Scand*, núm 384 (suplement), pàg. 1-48 (1972).
- HAGBERG, J.M., EHSANI, A.A., HEATH, G.W. «Beneficial effects of endurance exercise training in adolescent hypertension». *Am. J. Cardiol*, núm 45, pàg. 489-498 (1980).
- HEEBOL-NIELSSEN, K. «Muscle strength of boys and girls 1981, compared to 1956». *Scand. J. Sports Sci*, núm 4, pàg. 37-43 (1982).
- KEMPER, H.C.G. «Energy metabolism in childhood and adolescence». *Actes de les III Jornades Internacionals de Medicina i Esport*. Tema: L'esport escolar. Granollers, 1985.
- KOCH G. i FRANSSON, L. «Essential cardiovascular and respiratory determinants of physical performance at age 12 to 17 years during intensive physical training». *Children and Exercise XI. Internatio-*

- nal Series on Sport Sciences* (vol 15), pàg 257-293. Ed. per Binkhorst, R.A., Kemper, H.C.G. i Saris, W.H.M. Human Kinetic Pub, Champaign, Illinois, 1985.
- MACEK, M. I VAVRA, J. «Relation between aerobic and anaerobic energy supply during maximal exercise in boys». *Frontiers of activity*. Ed per Lavallé A. i Shephard, R.J, 1977.
- MACEK, M. «Aerobic and anaerobic energy output in children». *Children and Exercise XI. International Series on Sport Sciences* (vol 17), pàg. 3-10. Ed. per Rutenfranz et al. Human Kinetic Pub, Champaign, Illinois, 1986.
- MERCIER, J., VAGO, P., MACABIES, J. I PREFAUT, CH. «Evolution de la VO_2 máx chez l'enfant». *L'enfant, l'adolescent et le sport*. Masson. París, 1986.
- MEVDER, R., FABECIC-SABADI V. I MEVEDEV, V. «Echocardiographic findings in children participating in swimming training». *Int. J. Sports Med.* Z; 94-96 (1986).
- PIRNAY, F. I CRIELAARD, J.M. «Évolution de la puissance anaérobie alactique (sprint) chez les enfants des deux sexes». *L'enfant, l'adolescent et le sport*. Masson. París, 1986.
- POORTMANS, J.R. «Adaptation du métabolisme a l'effort intensif». *L'enfant, l'adolescent et le sport*. Masson. París, 1986.
- SHEPHARD, R.J. *Physical Activity and Growth*. Year Book Medical Pub. Chicago, 1982.
- SKINNER, J.S., BAR-OR, O. BERGSTENEINOVA, V. BELL, C.W., ROYER, D. I BUSKIRK, E.R. «Comparison of continuous and intermittent tests for determining maximal oxygen intake in children». *Acta Paediatr. Scand.*, núm 217 (suppl), pàg. 24-28 (1973).
- SLOANE, R.E.G. I KEATINGE, W.R. «Cooling rates of young people swimming in cold water». *J. Appl. Physiol.* núm 35, pàg. 371-375 (1973).

Abstracts

Para conocer en qué medida la educación física o el entrenamiento intensivo pueden afectar al desarrollo normal del niño, en el presente trabajo se consideran las características metabólicas de la adaptación al ejercicio físico del niño y el adolescente (capacidad aeróbica) y la respuesta cardiovascular y respiratoria, así como otras modificaciones del balance hídrico termorregulador y sensibilidad al cansancio. Esta parte analítica se complementa con el estudio de los efectos de un programa de educación física y del entrenamiento intensivo sobre las cualidades físicas de los niños y adolescentes, en sus diversos desarrollos (desarrollo óseo, muscular, metabólico, cardiovascular y respiratorio).

Pour connaître comment l'éducation physique ou l'entraînement intensif peuvent affecter le normal développement de l'enfant, on considère dans ce travail les caractéristiques métaboliques de l'adaptation à l'exercice physique de l'enfant et de l'adolescent (capacité aérobie) et la réponse cardiovasculaire et respiratoire, aussi bien que d'autres modifications du bilan hydrique thermorégulateur et la sensibilité à la fatigue. Cette partie analytique est complétée par l'étude des effets d'un programme d'éducation physique et de l'entraînement intensif sur les qualités physiques des enfants et des adolescents dans leurs différents développements (osseux, musculaire, métabolique, cardiovasculaire et respiratoire).

In order to ascertain to what extent physical education or intensive training can affect normal child development, this article discusses the metabolic features of adaptation (aerobic capacity) and the cardiovascular and respiratory response to physical exercise in the child and the adolescent, as well as other changes in hydric thermoregulating balance and sensitivity to fatigue. This analysis is complemented by a study of the effects of a programme of physical education and intensive training on the physical characteristics of children and adolescents in terms of bone, muscle, metabolic, cardiovascular and respiratory development.