

ARTICOLE DE ORIENTARE

Capacitatea aerobă de efort la copil

Aerobic exercise capacity in children

Valentina Dinu², Mirela Lucia Călina^{1,2}, Denisa Enescu Bieru¹, Ligia Rusu^{1,2}, Taina Avramescu^{1,2}

¹Universitatea din Craiova

²Policlinica pentru sportivi Craiova

Rezumat

La copil, capacitatea aerobă de efort se apreciază prin evaluarea consumului maxim de oxigen ($\text{VO}_2 \text{ max}$) în cursul unei probe de efort muscular. Ideal, valorile standard ale $\text{VO}_2 \text{ max}$ se calculează cu ajutorul unor ecuații alometrice, care trebuie să țină cont de masa slabă și de activitatea fizică a subiectului. În prezent ele nu există la copil, ceea ce face extrem de dificilă interpretarea probelor de efort. Acest studiu își propune să trecă în revistă datele din literatura de specialitate, cu scopul de a stoca valorile standard ale $\text{VO}_2 \text{ max}$ la copil și de a ușura interpretarea rezultatelor de către clinician. Utilizarea unor valori standard ale $\text{VO}_2 \text{ max}$, comune tuturor serviciilor de explorare, reprezintă de asemenea primul pas, indispensabil, pentru a propune o standardizare a protocolului de creștere a intensității efortului, cu scopul de a putea compara, în diferite centre, valorile parametrilor submaximali ai capacității de efort aerob.

Cuvinte cheie: copil, capacitate de efort aerob, standarde.

Abstract

For a child, the aerobic exercise capacity is estimated by evaluating the maximum oxygen consumption ($\text{VO}_2 \text{ max}$) during a physical exercise. Ideally, the standard values of $\text{VO}_2 \text{ max}$ are calculated using an allometric equation that needs to take into account the lean mass and the physical activity of the subject. Presently, this kind of data regarding children is not available which makes interpreting the effort tests extremely difficult. This study aims to review the data published in the literature, with the intent of accumulating the child's $\text{VO}_2 \text{ max}$ standard values and of facilitating the data interpretation by a clinician. The use of standard values for $\text{VO}_2 \text{ max}$ which would be common for all exploration procedures represents a first essential step in proposing standardization for the exercise intensity in protocol, to be able to compare, in different centers, the submaximal parameters' values of the aerobic effort capacity.

Key words: child, aerobic exercise capacity, standards.

Introducere

Efortul fizic reprezintă o suprasolicitare funcțională care produce o modificare a homeostaziei organismului, în scopul acoperirii necesităților metabolice crescute ale musculaturii în activitate. Organul esențial implicat în efort este mușchiul scheletic, însă și alte aparate și sisteme își amplifică activitatea pentru susținerea efortului, în special aparatele cardiovascular și respirator, sistemele nervos, endocrin și excretor.

Parametrul care caracterizează cel mai exact capacitatea de efort a unui subiect este reprezentat de consumul maxim de oxigen al organismului ($\text{VO}_2 \text{ max}$). Acesta evaluează nu numai capacitatea sistemului cardio-respirator de a asigura un aport maxim de oxigen la nivel muscular, dar și utilizarea acestuia la nivelul metabolismului energetic al fibrei musculare. Măsurarea exactă a acestuia se poate face prin metode directe, utilizând sisteme de respirație în circuit închis (spiroergometrie, calorimetrie); întrucât aceste metode sunt greu accesibile, în practică se folosesc metode indirecte, care permit o estimare aproximativă a $\text{VO}_2 \text{ max}$, folosind nomograme sau tabele, pe baza relației lineare dintre frecvența cardiacă

și consumul de oxigen, la o intensitate submaximală a efortului în faza stabilă (steady state).

La copil, capacitatea aerobă de efort se apreciază prin evaluarea $\text{VO}_2 \text{ max}$ în cursul unei probe de efort muscular, explorare din ce în ce mai frecventă datorită practicării precoce a sportului de performanță, pe de o parte, dar și informațiilor pe care le oferă asupra funcțiilor cardiace, respiratorii și musculare și adaptării acestora la efort, pe de altă parte. Totuși, acest examen de dată mai recentă la copil față de adult, prezintă dificultăți de ordin metodologic, legate de absența unor standarde precise și a unor date teoretice adaptate pertinente (Matecki ș.c., 2001a).

Fiziologia efortului muscular la copil, comparativ cu cea a adultului, se caracterizează prin:

- un metabolism aerob relativ bine dezvoltat, cu valori ale $\text{VO}_2 \text{ max}$ superioare celor ale adultului sedentar, fie că se raportează la unitatea de masă corporală, fie la unitatea de masă slabă;
- un metabolism anaerob imatur, cu valori relativ scăzute ale puterii maxime anaerobe, raportate la unitatea de masă corporală sau la unitatea de masă slabă relativ scăzute;
- o concentrație sanguină scăzută a lactatului și o

Primit la redacție: 1 septembrie 2010; Acceptat spre publicare: 2 octombrie 2010

Adresa: Universitatea din Craiova, Facultatea de Educație Fizică și Sport, Str. A. I. Cuza nr.13, Craiova, România, cod 200585

E-mail: valentinadinu@yahoo.com

Copyright © 2010 by "Iuliu Hațieganu" University of Medicine and Pharmacy Publishing

diminuare a activității enzimelor glicolizei musculare, în special a lactatdehidrogenazei (LDH).

Interpretarea capacității de efort aerob la copil necesită compararea valorilor determinate cu valori standard ale VO_2 max, reprezentative pentru populația studiată, calculate pe baza unor ecuații alometrice, care să țină cont și de factori de variabilitate: genul, caracteristicile antropometrice (talie, greutatea corporală totală, masa slabă) și activitatea fizică. În prezent, în literatura de specialitate există puține astfel de date, ceea ce face extrem de dificilă interpretarea probelor de efort la copil.

În domeniul medical, efortul fizic a fost considerat încă de la început ca un mijloc de diagnostic al tulburărilor funcționale legate de activitatea fizică (astmul indus de efort sau anomalii în metabolismul energetic), nedecelabile în repaus (Matecki ș.c., 2001b). În plus, efectele nefaste ale sedentarismului determinat de o patologie cronică sunt din ce în ce mai cunoscute și evaluarea capacității de efort devine prima etapă a unei terapii bazate pe reantrenare.

Numeroase studii au urmărit evoluția VO_2 max la copil în cursul unui efort muscular; ele au evidențiat prezența la copiii de aceeași vârstă a unor valori ale VO_2 max, care diferă în funcție de originea geografică, genul sau activitatea fizică, ceea ce face dificilă aprecierea valorilor normale ale acestora.

Acest studiu își propune să treacă în revistă datele din literatura de specialitate, cu scopul de a stoca valorile standard ale VO_2 max la copil și de a ușura interpretarea rezultatelor de către clinician. Utilizarea unor valori standard ale VO_2 max, comune tuturor serviciilor de explorare, reprezintă de asemenea primul pas, indispensabil, pentru a propune o standardizare a protocolului de creștere a intensității efortului, cu scopul de a putea compara, în diferite centre, valorile parametrilor submaximali ai capacității de efort aerob.

Diferitele tipuri de studii

În literatura de specialitate, există două tipuri de studii legate de capacitatea aerobă de efort la copil (Tabelul I).

Primul tip de este cel transversal, al cărui scop este de a obține standarde pe grupe de vârstă, greutate sau talie, în rândul unei populații infantile. Principalul său inconvenient este lipsa de omogenitate legată de vârful de creștere pubertară, în interiorul aceluiași grup, care poate masca influența procesului de dezvoltare asupra VO_2 max din cursul procesului de creștere; dacă numărul de subiecți incluși în studiu este suficient de mare, acest tip de studii aduce valori ale VO_2 max care pot servi drept referință prin categoriile de copii studiate, dar pot raporta cu dificultate evoluția VO_2 max în timpul procesului de creștere în rândul unei aceleiași populații.

Cel de-al doilea tip este cel longitudinal, care evaluează în principal efectele creșterii și dezvoltării asupra VO_2 max, prin repetarea de către același copil a aceluiași tip de efort, în cursul procesului său de creștere. Ele permit obținerea unor grupuri de populație mai omogene și, în plus, evaluarea mai clară a efectelor exercitate de anumiți factori de mediu (practicarea unei activități fizice, regimul alimentar) asupra capacității aerobe de efort, în cursul procesului de creștere (Nevill ș.c., 1992).

Influența protocolului de creștere a intensității efortului. Durata protocolului

Evaluarea capacității aerobe de efort se face prin determinarea VO_2 max prin metode directe (spiroergometrie, calorimetrie) sau prin metode indirecte, cu ajutorul unor nomograme sau tabele, pe baza relației lineare dintre frecvența cardiacă și VO_2 max, la o intensitate submaximală a efortului în faza stabilă.

Consumul de oxigen derepaus al organismului, estimat a fi de 3,5 ml O_2 /kg corp/minut, reprezintă echivalentul metabolic (MET).

VO_2 max reprezintă nivelul maxim al consumului de oxigen al organismului, care depinde de capacitatea de adaptare a funcției respiratorii și cardiovasculare, dar și de factori genetici, vârstă, gen, masă musculară, nivel de antrenament, frecvența cardiacă (FC) și respiratorie (FR); la subiecții normali, VO_2 max este atins datorită imposibilității creșterii debitului cardiac peste un anumit nivel; exprimarea VO_2 max se face fie în ml O_2 /kg/min, fie sub forma de multiplu al MET. Rezultatul obținut se compară cu valoarea teoretică, care se calculează conform formulei: VO_2 max teoretic = $45,8 - (0,17 \times \text{vârsta în ani})$.

Proba de efort va fi precedată obligatoriu de o anamneză și un examen clinic amănunțite, completate de un examen electrocardiografic (EKG) și se va efectua sub controlul FC și al tensiunii arteriale (TA), în prezența unui medic și a unui personal paramedical specializat în resuscitare; sunt absolut necesare o trusă de urgență pentru reanimare, un defibrilator cardiac și un ergospirometru.

În ceea ce privește alegerea ergometruului pentru proba de efort la copil, se recomandă folosirea covorului rulant, la copiii cu vârsta sub 12 ani și a cicloergometruului, la copiii peste 12 ani.

În funcție de durata totală a creșterii încărcării, se poate vorbi despre două tipuri de probe:

- Proba cu efort *rectangular*, care utilizează un nivel unic de efort cu o durată determinată; nu realizează modificări similare la nivelul aparatului cardiovascular la subiecți cu grade de antrenament diferite, existând riscul suprasolicitării la cei neantrenați și a unei solicitări insuficiente la cei antrenați; practic, se demarează cu o încărcare de 30-60w, în funcție de vârstă și de capacitatea fizică, urmată de o creștere rapidă a încărcării de efort, în 1-3 min, până la obținerea a 80-90% din FC_{max} teoretică, care la copil variază puțin cu vârsta, fiind în medie de 200 ± 7 bătăi/min ($220 - \text{vârsta} \pm 10$, după Astrand, 1952); încărcarea se va menține pe parcursul a 4 min, durata totală a efortului fiind de 6-8 min;

- Proba cu efort *triangular*, presupune o creștere progresivă („în trepte”) a intensității efortului, până la un nivel ținut, stabilit pe baza capacității de efort a subiectului.

Protocolul folosit este următorul:

- încălzire cu durată de 3 minute, la o încărcare inițială de 20-30 w la cicloergometru și o viteză de 3 km/h (pantă 2%) la covorul rulant;

- încărcarea va crește cu 5-10 w/min sau 0,5-1km/h la copiii < 12 ani și cu 10w/min sau 20w/2 min la copiii > 12 ani, până la obținerea a 80-90% din FC_{max} teoretică, durata totală a probei fiind de 8-12 min, în afara încălzirii.

Oprirea probei de efort se va decide fie atunci când

ea este considerată maximală (atingerea unui nivel maximal de efort, respectiv, obținerea FC corespunzătoare vârstei și menținerea ei timp de 1 min sau sfârșitul unui protocol de investigații), fie dacă survin evenimente care țin de securitatea pacientului (o desaturare de peste 4%, semne de insuficiență circulatorie periferică: paliditate, puls cu amplitudine scăzută, piele umedă, cianoză) sau imposibilitatea fizică de a continua efortul (dispnee, dureri musculare) (Karila, 2006).

După *intensitatea efortului* se disting:

- *testele maximale* la care efortul este realizat până la atingerea capacității aerobe maxime;

- *testele submaximale* în care efortul este realizat până la atingerea unei fracții de 80-90% din capacitatea aerobă maximă.

În ceea ce privește durata unei probe de efort, Buchfuhrer ș.c. (1983) au demonstrat că la adult valoarea VO_2 max este mai mare dacă proba durează în medie 8-17 minute. Conform acelorași autori, în cursul probelor de efort mai scurte, valorile VO_2 max sunt semnificativ mai slabe, probabil datorită unei limitări a forței musculare, produsă de nivelurile importante de creștere a intensității efortului. În timpul testelor mai lungi intervin oboseala un disconfort al subiecților care limitează efortul și induc deci valori mai slabe ale VO_2 max. Cu toate că nici un studiu similar nu a fost realizat la copil, Rowland (1996) preconizează o durată a efortului în medie de 8-12 minute. În literatura de specialitate, durata unui efort cu încărcătură crescândă variază între 4-12 minute.

Tipul de creștere a intensității efortului și ergometrele utilizate

La adult, parametrii maximi ai capacității aerobe de efort depind de tipul efortului, precum și de protocolul de încărcare. Ca urmare, VO_2 max este semnificativ mai mare (cu aproximativ 10%) dacă efortul se efectuează la covorul rulant, față de cicloergometru, în special datorită masei musculare mai mari puse în joc. Aceste rezultate par a se verifica în egală măsură și la copil (Turley ș.c., 1993).

În privința efectului protocolului de încărcare la adult, unii autori nu observă diferențe între VO_2 max în funcție de protocolul folosit (Zang ș.c., 1991), în timp ce alții constată diferențe ale VO_2 max legate esențial de durata totală a probei de efort.

La copil există puține studii care evaluează influența protocolului folosit asupra parametrilor maximi ai funcției aerobe. Ele par să arate de asemenea o absență a efectului tipului de creștere a intensității efortului asupra VO_2 max, iar, prin analogie cu adulții, dacă o influență a protocolului de creștere a intensității efortului asupra VO_2 max se constată la copil, ea s-ar datora în mod esențial duratei probei de efort (Tanner ș.c., 1991).

Dacă se dorește o standardizare a protocoalelor cu scopul de a obține profile apropiate de creștere a intensității efortului și cu durată echivalentă, cuprinseă între 8-12 minute, este necesară utilizarea unor valori identice pentru VO_2 max teoretic. Prin urmare, VO_2 max teoretic permite aprecierea puterii maxime aerobe pe care copilul o poate atinge teoretic, în funcție de vârstă și de caracteristicile antropometrice și, în același timp, determinarea valorii de

creștere a intensității efortului (în w/min), astfel încât proba de efort să dureze aproximativ 10 min (Rowland, 1996).

Criterii de maximalitate

Pentru ca VO_2 max să poată fi considerat ca maxim la copil, numeroase studii citează criteriile utilizate la adult: aplatizarea curbei de creștere a VO_2 max, în pofida creșterii intensității efortului, stabilizarea frecvenței cardiace în apropierea frecvenței cardiace maxime teoretice, coeficientul respirator $\geq 1,1$ și imposibilitatea subiectului de a menține viteza de pedalare inițială. Cățiva autori au studiat în mod special validitatea acestor criterii la copil, constatând că doar 28% dintre copii care au efectuat o probă de efort maximal, au prezentat criteriile de maximalitate menționate, în timp ce valorile VO_2 max nu erau statistic diferite față de cele ale altor copii studiați (Armstrong ș.c., 1996; Rowland, 1993).

Prin urmare, la copii criteriile de maximalitate sunt mai puțin nete decât la adult; un platou al VO_2 max este obținut rar și un vârf al VO_2 max poate fi considerat maximal. În același timp, frecvența cardiacă maximă poate varia foarte mult, indiferent de vârstă, oscilând în jurul valorii de 200 ± 7 bătăi/min. În cursul efortului maximal, coeficientul respirator poate avea valori ≤ 1 ($0,99 \pm 0,03$). În plus, aceeași autori, insistă asupra criteriilor subiective (transpirația sau eritemul facial) pentru a considera caracterul maximal al unei probe de efort la copil.

Mahon ș.c. (1998) au demonstrat că la copil s-ar putea evalua intensitatea unei probe de efort cu încărcătură progresivă, cu ajutorul unei scale Borg; în acest studiu, copii cu vârsta medie de 10 ani și-au putut evalua distinct intensitatea efortului la nivel respirator și muscular; în plus, valorile erau reproductibile și comparabile cu cele ale unei populații martor de vârstă adultă.

Datorită dificultății de interpretare a criteriilor subiective, autoevaluarea intensității testelor de efort cu încărcare progresivă prin scale vizual analoge trebuie să joace un rol important în stabilirea criteriilor de maximalitate ale unei probe de efort la copil.

Factori de variabilitate ai VO_2 max

La copil, VO_2 max crește cu vârsta (Astrand, 1952), datorită creșterii dimensiunilor corporale. Principalii factori de variație, care trebuie luați în considerație pentru a propune valori standard pentru VO_2 max, sunt caracteristicile antropometrice (masa totală, masa slabă, talia) și sexul. Trebuie luată de asemenea în considerare și activitatea fizică, deoarece ea modifică în consecință relația dintre caracteristicile antropometrice și VO_2 max.

a) *Nivelul de activitate fizică* variază în funcție de originea geografică a subiectului, deoarece face parte integrantă din specificul cultural al fiecărei regiuni; astfel, valori diferite ale VO_2 max pentru aceeași grupă de vârstă se pot datora, pe de o parte, variațiilor nivelului de activitate fizică la copii studiați.

Studii longitudinale, care evaluează efectul antrenamentului asupra VO_2 max, arată totuși rezultate contradictorii. Anumiți autori nu constată modificări ale VO_2 max în funcție de nivelul activității fizice desfășurate (Mero ș.c., 1990), în timp ce alții constată o ameliorare a valorilor acestuia, foarte variabilă de la un studiu la altul, în funcție

de antrenament (Eriksson și Koch, 1973). Aceste rezultate diferite se datorează în parte neomogenității loturilor de copii studiați, din punctul de vedere al vârstei, al sportului practicat, al intensității sau frecvenței programelor de antrenament. Se pare că începând cu vârsta de 10 ani, antrenamentul ameliorează VO_2 max, dar cele mai importante variații sunt observate în perioada pubertară (Mercier ș.c., 1987). De asemenea, tipul de sport practicat, ca și frecvența și durata secvențelor, influențează variațiile VO_2 max. Cu toate acestea, în prezent este aproape imposibil să se găsească standarde pentru VO_2 max în funcție de tipul de activitate fizică, datorită extremei variabilități a antrenamentelor și totodată absenței datelor referitoare la natura și intensitatea acestora. Deci, sunt necesare studii care să evalueze VO_2 max pentru diferite tipuri de activitate fizică, folosind un protocol standard pentru proba de efort.

b) *Masa corporală totală*. VO_2 max crește cu vârsta și cu caracteristicile antropometrice (Astrand, 1952). Printre acestea, masa corporală totală este cea mai accesibilă și cea mai folosită. Numeroase studii au evidențiat la copii o relație lineară pozitivă între masa totală și VO_2 max, raportând valori normalizate prin greutatea corporală totală. Aceste valori, exprimate în ml/min/kg, sunt prezentate în tabelul I, ceea ce permite raportarea variabilității existente de la un studiu la altul, atât la fete, cât și la băieți, pentru aceeași grupă de vârstă (Matecki ș.c., 2001a). La băieții cu vârste de la 10 la 16 ani, după unele studii nu există diferențe semnificative ale VO_2 max în cursul procesului de creștere (Prioux ș.c., 1997), în timp ce după altele, VO_2 max nu evoluează în același mod cu masa totală și prezintă o diminuare postpubertară (Cooper ș.c., 1984) (tabelul I). La fete, sunt mai rare studiile care evaluează VO_2 max, toate arătând valori mai slabe față de băieți și o scădere postpubertară pronunțată (Sjodin și Svendenhag, 1992; Rogers ș.c., 1995) (tabelul I). Această descreștere se explică printr-un procent al masei grase mult mai important la fete în perioada postpubertară, asociat cu un nivel de activitate fizică inferior față de cel al băieților.

Evoluția VO_2 max cu caracteristicile antropometrice este descrisă mai bine prin ecuațiile alometrice, care reprezintă o funcție de putere între un parametru fiziologic - VO_2 max (Y) și un parametru antropometric - masa (M): $Y = aM^b$; această ecuație reflectă variațiile respective a 2 parametri, unul în raport cu celălalt; ca urmare, VO_2 max poate să crească în aceeași măsură, mai mult sau mai puțin rapid față de masa corporală totală, în cursul procesului de creștere.

Dacă coeficientul $b=1$, VO_2 max și masa corporală cresc în mod identic, dacă $b < 1$, masa totală crește mai rapid decât VO_2 max și invers, dacă $b > 1$. Sjodin și Svendenhag (1992), apoi Rogers ș.c. (1995) au demonstrat că valorile coeficientului de proporționalitate, b , pot să varieze în funcție de nivelul de activitate fizică al copiilor. Ca urmare, pentru cei care nu practică decât o activitate fizică în cadrul școlar, masa lor totală crește mai rapid decât VO_2 max, cu un coeficient de proporționalitate < 1 ($b=0,75$). În schimb, la copii care practică o activitate fizică regulată, acest coeficient, $b=1$.

Ținând cont de absența cuantificării precise a nivelului de antrenament, singurele standarde pentru VO_2 max pe care le putem utiliza provin din 2 studii realizate pe un număr

mare de copii de ambele sexe, care nu practică activitate fizică în afara școlii. Cele 2 studii (tabelul I), efectuate de către Sunnegardh și Bratteby (1987), respectiv Cooper ș.c. (1984), raportează valori ale VO_2 max mai ridicate la băieți (52 ± 6 , față de 42 ± 6 ml/kg/min), dar și la fete (45 ± 4 , față de 38 ± 7 ml/kg/min), ceea ce ilustrează importanța nivelului de activitate fizică (chiar și atunci când copilul este considerat neantrenat) și a utilizării unor standarde ale VO_2 max specifice fiecărei țări.

Absența studiilor longitudinale, pe un număr mare de copii de ambele sexe, nu ne permit să beneficiem în prezent de valori standard satisfăcătoare, ținând cont de perioada pubertară.

Trebuie notat totuși studiul lui Sjodin și Svendenhag (1992), care propun valori ale VO_2 max, ce țin cont de un coeficient de proporționalitate de 0,75 pentru copii neantrenați, care rămâne constant pe toată durata creșterii ($160 \text{ ml/min/kg}^{-0,75}$). Totuși, acest studiu a fost efectuat doar pe un număr mic de băieți, iar rezultatele prezentate nu pot servi drept norme (tabelul I).

c) *Masa slabă*. La copil, masa slabă, apreciată clasic prin măsurarea pliurilor cutanate, se poate evalua mult mai simplu prin impedanță bioelectrică. Există o relație strânsă între energia dezvoltată și masa musculară. Din aceste motive, anumiți autori preconizează normalizarea VO_2 max prin masa slabă (Prioux ș.c., 1997; Sunnegardh și Bratteby, 1987) (tabelul I). Totuși, în prezent, nu există studii care să raporteze VO_2 max la masa slabă pe un număr mare de copii de ambele sexe.

Studiul semilongitudinal realizat de Prioux ș.c. (1997), pe o durată de 3 ani, pe băieți neantrenați de 11-16 ani, arată valori ale VO_2 max raportate la masa slabă inferioare celor din studiile lui Sunnegardh și Bratteby (1987): 50 ± 5 ml/kg/min, față de 64 ± 7 ml/kg/min. Aceste valori exprimă VO_2 max raportat la masa slabă la un număr mare de copii neantrenați (băieți și fete) și indică o variație nesemnificativă în cursul creșterii (tabelul I). Nivelul diferit de activitate fizică nu poate fi singurul factor capabil să explice diferențele. Prin urmare, când se compară aceste 2 studii, pentru aceeași vârstă și aceeași masă slabă, rezultă faptul că copii din cel de-al doilea studiu au talii mai mari (Prioux ș.c., 1997; Sunnegardh și Bratteby, 1987). Este posibil ca aceste diferențe de morfotip să poată interveni la dispersia rezultatelor. Aceasta subliniază importanța efectuării unor studii similare și la noi în țară, pe un număr cât mai mare de copii de ambele sexe, cu scopul de a obține valori standard ale VO_2 max raportate la masa slabă.

Valorile propuse de Prioux ș.c. (1997) sunt cu siguranță mai aproape de realitate, dar nu pot avea decât un caracter informativ, studiul fiind efectuat pe un număr restrâns de băieți, la copii de sex feminin neexistând studii echivalente. Toate studiile efectuate arată totuși valori statistice mai crescute la băieți, probabil datorită unui nivel mai scăzut al activității fizice la fete. Pe de altă parte, pentru același nivel de activitate fizică, masa musculară intrată în joc pare preponderentă, așa cum arată studiul efectuat de Armstrong ș.c. (1997), care găsesc valori ale VO_2 max raportat la masa slabă, superioare la băieți față de fete.

Nici unul dintre studii nu a precizat însă evoluția VO_2 max în raport cu masa slabă, folosind ecuații alometrice,

care ar permite evaluarea influenței exercitate și de alți factor asociați, ca de exemplu activitatea fizică.

d) *Talia*. Înălțimea (talia) este caracterul morfologic cel mai constant pentru o vârstă dată; Dobein și Eriksson (1972) au pus în evidență o relație lineară între VO_2 max și talie, în cursul procesului de creștere și au propus înălțimea ca factor de normalizare a parametrilor maximali ai capacității de efort aerob, fără a o considera însă factorul determinant principal. Ca urmare, în cursul procesului de creștere, VO_2 max, normalizat prin talie, este totdeauna corelat în mod linear cu masa totală, în timp ce VO_2 max, normalizat prin masa totală, nu variază cu talia.

Relația VO_2 max - frecvență cardiacă (FC)

Relația dintre VO_2 max și FC în cursul efortului fizic, reflectă cantitatea de O_2 consumată de organism la fiecare bătăie cardiacă, fiind un indicator important al adaptării sistemului cardiovascular la efort. Ea se exprimă prin oxigen-puls maxim, care reprezintă raportul dintre VO_2 max și FC max. Așa cum FC rămâne constantă în cursul creșterii și nu este influențată de nivelul de antrenament, oxigen-puls maxim din timpul efortului, în cursul procesului de creștere urmează evoluția VO_2 max. El crește deci cu vârsta și trece de la o valoare medie de 8,8 la 12 ani, la o valoare de 14,7 la 16 ani, la copii neantrenați, conform studiului lui Prioux ș.c. (1997). Autorii Cooper ș.c. (1984) au demonstrat că la o FC de 140 bătăi/min, oxigen-puls max evoluează liniar în raport cu greutatea, cu valori mai mari la băieți (Tabelul I). Totuși, nici un studiu nu raportează valori maxime ale oxigen-puls maxim în funcție de caracteristicile antropometrice.

Concluzii

Scopul stabilirii unor standarde pentru VO_2 max este în primul rând de a furniza clinicianului un instrument de evaluare a capacității fizice a copiilor și de a aprecia din punct de vedere cantitativ limitele acestora. Trebuie remarcat totuși faptul că diferite valori ale VO_2 max normalizate prin masa totală, raportate în tabelul I pentru totalitatea studiilor asupra capacității de efort aerob a copilului sunt superioare valorilor adultului tânăr sedentar: 40 ml/min/kg (Astrand, 1952). Această diferență se poate explica în principal printr-un nivel de activitate fizică întotdeauna superior la copil, efortul fizic fiind parte integrantă a psihicului copilului (nu există practic copii sedentari sănătoși).

Dacă se determină capacitatea aerobă de efort la un copil ce prezintă o patologie cronică și este deci sedentar prin disabilitatea sa, rezultatele ar trebui interpretate în funcție de anumite standarde stabilite pentru copii sănătoși, care au același mod de viață sedentară, cu scopul de a evalua ponderea efectelor patologiei cronice și ponderea sedentarismului în limitarea efortului fizic. Dar, nu există grupuri martor de copii sedentari, ceea ce face interpretarea dificilă.

Această trecere în revistă a datelor din literatura de specialitate arată că standardele pentru VO_2 max disponibile în prezent nu sunt satisfăcătoare. Anumiți autori au realizat o sinteză a valorilor normale ale VO_2 max provenite din diverse studii. Astfel, Bar-Or (1983) raportează valori provenite de la un număr de 1730 de fete și 2180 băieți, cu

vârste între 6-18 ani (figura 1), în timp ce Krahenbull ș.c. (1983), studiind peste 66 lucrări de specialitate, raportează valori provenite de la 5793 băieți și 3508 fete. Această abordare a modului de a obține valori standard ale VO_2 max regroupează valori obținute de la grupuri de subiecți cu origine diferită, în condiții metodologice, cu circuite de măsurare a schimburilor respiratorii și protocoale de creștere a intensității efortului diferite la fiecare studiu. În plus, valorile VO_2 max depind de originea geografică a copiilor, fie din motive de ordin genetic, fie legate de volumul de activitate fizică, specific fiecăror obiceiuri culturale.

Astfel, în Franța, interpretarea unei probe de efort cu încărcătură progresivă la copil, folosește standarde ale VO_2 max care se raportează doar la masa totală (băieți: $47 \pm 1,2$ ml/min/kg, stabile cu creșterea; fete: $40 \pm 1,1$ ml/min/kg, cu o ușoară scădere în perioada postpubertară), fără utilizarea ecuațiilor alometrice, propuse de către Prioux ș.c. (1997) (tabelul I). Dar, în cursul procesului de creștere, copiii nu păstrează același procent de masă slabă, ceea ce face ca simpla raportare la greutate să fie insuficientă. Pentru normalizarea valorilor VO_2 max, trebuie să se țină cont de influența altor variabile, ca de exemplu compoziția corporală și activitatea fizică. Deci, este necesar un studiu multicentric, cu scopul de a obține valori standard, nu numai pentru VO_2 max, dar și pentru ansamblul parametrilor maximali și submaximali. Un astfel de studiu ar necesita în primul rând o standardizare a protocolului probelor de efort, care să includă masa slabă a copilului, dar și masa musculară a coapsei sau a brațului, dacă efortul este efectuat cu membrul superior, precizându-se în mod sistematic stadiul pubertar al subiectului. Nivelul de activitate fizică va trebui și el luat în considerare, cel mai simplu, prin diferențierea copiilor în antrenați și neantrenați, cu ajutorul unor chestionare de activitate fizică.

De asemenea, înregistrarea continuă a FC ar permite, pornind de la relația lineară dintre ea și VO_2 max, să traducă în VO_2 max FC înregistrată în cursul zilei, însă acest sistem are numeroase inconveniente (Fellmann și Coudert, 1994):

- dificultatea organizării, când studiile se efectuează pe un număr mare de copii;
- înregistrarea făcută pe o perioadă scurtă, care nu reprezintă o viziune globală pe parcursul întregului an, fără să țină cont de influența unui astfel de aparat portativ asupra activității copilului;
- riscul, deloc neglijabil, de supraestimare a activității fizice, cu intervenția unor alți factori care cresc FC, precum stresul sau căldura.

Va fi necesară o dublă abordare a cuantificării activității fizice, pe de o parte descriptivă (cu chestionare), pe de altă parte cantitativă (înregistrarea continuă a FC). În final, ecuațiile alometrice, care raportează VO_2 max la masa slabă, cu un coeficient de proporționalitate b, care variază în funcție de nivelul de activitate fizică, pare mult mai satisfăcător. Evaluarea aptitudinilor fizice prin probe de efort muscular la copil va deveni mai riguroasă dacă vom putea dispune de ecuații pentru ambele sexe.

Conflicte de interese

Nimic de declarat.

Tabelul I

Valorile VO₂ max la copil în diverse studii de specialitate.

Autorii studiului	Lotul studiat și vârsta la debutul studiului	Activitatea fizică în momentul studiului	Tipul de studiu	Tipul de protocol	Valorile VO ₂ max (ml/min/kg)
Macek M, Vavra J (1980) Europa de Est	10 băieți, 10,5±0,6 ani	Antrenați: 6 ore/săptămână	Transversal	Cicloergometru, 2 w/kg, 3 min	52,8±7,8 ml/min/kgC
Cooper ș.c. (1984) SUA	58 băieți, 2 subloturi: - B1: 6-13 ani - B2: 14-17 ani 51 fete, 2 subloturi: - F1: 6-11 ani - F2: 12-17 ani	Neantrenați	Transversal	Cicloergometru: - ≤ 9 ani: 10 w/min - 10-13 ani: 15 w/min - ≥ 14 ani: 20w/min	Băieți B1: 42,6±6ml/min/kg B2: 50±8 ml/min/kg Fete F1: 38±7 ml/min/kg F2: 34±4,8ml/min/kg
Sunnegardh și Bratteby (1987), Suedia	52 băieți, 2 subloturi: - B1: 8,7 ani și - B2: 13,8 ani 49 fete, 2 subloturi: - F1: 8,7 ani - F2: 13,7 ani	Neantrenați	Transversal	Cicloergometru, protocol nedetaliat	Băieți B1 și B2: 52±6ml/min/kg (masă totală); 64±7ml/min/kg (masă slabă) Fete F1: 45,9±4 ml/min/kg (masă totală); 60,4±4ml/min/kg (masă slabă) F2: 43,7±4 ml/min/kg (masă totală); 58,8±4ml/min/kg (masă slabă) B1: 66,4ml/min/kg B2: 160ml/min/kg ^{-0,75} , valori constante indiferent de vârstă, dacă factorul de corelație este: - 1, la subiecții antrenați - 0,75, la subiecții neantrenați
Sjodin și Svedenhag (1992) Suedia	12 băieți, 2 subloturi (B1; B2), 12 ani	B1: antrenați B2: neantrenați	Longitudinal, 8 ani	Covor rulant, protocol nedetaliat	
Prioux ș.c. (1997) Franța	44 băieți, 3 subloturi: B1: 11,2±0,2 ani B2: 12,9±0,2 ani B3: 14,9±0,2 ani	Antrenați: 2 ore/săptămână	Semilongitudinal, 3 ani	Cicloergometru: - < 12 ani: 20w/min - ≥ 12 ani: 30w/min	B1: 50±5ml/min/kg (masă slabă); B2: 54,4±8ml/min/kg (masă slabă) B3: 55±6ml/min/kg (masă slabă)

Bibliografie

- Armstrong N, Kirby BJ, Mcmanus AM, Welsman JR. Prepubescent's ventilatory responses to exercise with reference to sex and body size. *Chest* 1997;112:1554-1560.
- Armstrong N, Welsman J, Winsley R. Is VO₂ peak a maximal index of children's aerobic fitness? *Int. J. Sports Med.* 1996;17:356-359.
- Astrand PO. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Munksgaard Ed., 1952 Copenhagen
- Bar-Or O. Pediatric sports medicine for the practitioner. New York: Springer-Verlag; 1983.
- Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J. Appl. Physiol.* 1983;55:1558-1564.
- Cooper D, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. Aerobic parameters of exercise as a function of body size during growth in children. *J. Appl. Physiol.* 1984;56:628-634.
- Dobein WV, Eriksson BO. Physical training, maximal oxygen uptake and dimensions of oxygen transporting and metabolizing organ in boys 11-13 years old age. *Acta Paediatr. Scand.* 1972;61:653-660.
- Eriksson BO, Koch G. Effect of physical training on hemodynamic response during submaximal and maximal exercise in 11-13 year old boys. *Acta Physiol. Scand.* 1973;87:27-39.
- Fellmann N, Coudert J. Physiologie de l'exercice musculaire chez l'enfant. *Arch. Pédiatr.* 1994;1:827-840.
- Karila C. Epreuve d'effort chez l'asthmatique. Pour qui? Pour quoi?. *Rev. française d'allergologie et d'immunologie Clinique*; 2006; 46: 571-575.
- Krahenbuhl GS, Skinner JS, Kohrt WM. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 1983;13:503-538.
- Macek M, Vavra J. The adjustment of O₂ uptake at the onset of exercise: A comparison between
- Mahon AD, Gay JA, Stolen KQ. Differentiated ratings of perceived exertion at ventilatory threshold in children and adults. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1998; 18:115-120.
- Matecki S, Paruit C, Chaussain M, Ramonatxo M, Denjeana A., ș c. Indications et réalisation pratique des épreuves d'exercice chez l'enfant. *Rev. Mal. Respir.* 2001a;18: 491-498.
- Matecki S, Prioux J, Amsellem F, Mercier J, Prefaut C, Ramonatxo M și gr „EFR pédiatriques” de la Société de Physiologie. La consommation maximale d'oxygène chez l'enfant sain: facteurs de variation et normes disponibles. *Rev. Mal. Respir.* 2001b; 18: 499-506.
- Mercier J, Vago P, Ramonatxo M, Bauer C, Prefaut C. Effect of aerobic training quantity on the VO_{2max} of circumpubertal swimmers. *Int. J. Sports Med.* 1987; 8:26-30.
- Mero A, Jaakkola L, Komi PV. Serum hormones and physical performance capacity in young boy athletes during a 1 year training period. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1990; 60:32-37.
- Nevill AM, Ramsbottom R, Williams C. Scaling physiological measurements for individuals of different body size. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1992; 65:110-117.
- Prepubertal boys and young adults. *Int J Sport Med* 1980; 1: 70-72
- Prioux J, Ramonatxo M, Mercier J, Granier P, Mercier B, Prefaut C. Changes in maximal exercise ventilation and breathing pattern in boys during growth: a mixed crosssectional longitudinal study. *Acta Physiol. Scand.* 1997;161:447-458
- Rogers D, Olson BL, Wilmore H. Scaling for VO₂ to body size relationship among children and adults. *J. Appl. Physiol.* 1995; 79:958-967.
- Rowland W T. Testing protocol. In : Human Kinetics. Developmental exercise physiology 1996;31-4.
- Rowland W T., Does peak VO₂ reflect VO_{2max} in children?: evi-dence from supramaximal testing, *Med Sci Sports Exerc.* 1993; 25: 689-693
- Sjodin B, Svendehag J. O₂ uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1992; 65:150-157.
- Sunnegardh J, Bratteby LE. Maximal oxygen uptake, anthropo-metry and physical activity in a randomly selected sample of 8 and 13 years old children in sweden. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1987; 56:266-272.
- Tanner CS, Heise CT, Barber G. Correlation of the physiologic parameters of a continuous ramp versus an incremental james exercise protocol in normal children. *AM. J. Cardiol.* 1991; 67:309-312.
- Turley KR, Rogers DM, Wilmore JH. Maximal testing in prepubescent children: treadmill versus cycle ergometry. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1993; 25:S9
- Zang Y, Johnson MC, Chow N, Wasserman K. Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1991; 23:625-630