



SESSÃO ESPECIAL

DESENVOLVIMENTO DAS FUNÇÕES ANAERÓBICAS E AERÓBICAS EM CRIANÇAS E JOVENS

Richard A. Boileau
Universidade de Illinois - Urbana-Champaign

A atividade física é talvez o comportamento mais observado em crianças. As crianças frequentemente expressam sua necessidade de dispendir energia através de atividades e brincadeiras vigorosas, enquanto outras, talvez em consequência da influência adulta fazem o mesmo através de uma variedade de atividades esportivas estruturadas. É sabido que a atividade de física evoca elevados níveis de metabolismo e dispendio energético. As adaptações agudas e crônicas, os ajustes metabólicos ao exercício em adultos está bem documentado na literatura(1). Entretanto o interessante é que sobre a criança relativamente pouca informação está disponível. Isto se deve a um pressuposto infundado de que crianças são simplesmente "pequenos adultos". A ilusão desta idéia, entretanto, tem sido demonstrada em estudos na área de composição corporal, em que ficou demonstrado que a gordura corporal livre em crianças é quimicamente imatura(15,17). Outras evidências sugerindo que crianças podem ser metabolicamente imaturas também têm sido apresentadas(4,8), indicando que pode ser infundada a idéia de que os ajustes anaeróbicos e aeróbicos ao exercício, em crianças, são similares aos dos adultos.

A importância da atividade física para crianças há muito tempo tem sido reconhecida e acredita-se ser

um elemento essencial, juntamente com uma boa nutrição, para uma boa saúde, crescimento e desenvolvimento normal dos sistemas fisiológicos. Além do mais, a inatividade infantil e um baixo nível de aptidão física estão associados a várias doenças degenerativas em crianças. As pesquisas têm reforçado essa crença pela demonstração da prevalência relativamente alta de obesidade infantil e fatores de risco na doença coronariana (11,15). Por exemplo, Lauer e cols.(15) relatando sobre 5000 crianças em Muscatine-Iowa(USA), encontraram, que 24% delas apresentavam alta taxa de colesterol, 20% eram obesas e 19% tinham pressão arterial elevada. Em geral é aceito que exercícios aeróbicos são essenciais no controle de tais problemas de saúde, bem como incentiva, favorece a função cardiorespiratória e a performance de endurance. Por outro lado, uma nutrição pobre tem sido associada a um crescimento atrasado ou retardado, a uma fraca aptidão física e reduzida capacidade de trabalho.

O objetivo deste trabalho é discutir as características metabólicas da criança durante o exercício. A atenção será enfocada na bioenergética do exercício em termos das respostas agudas, tanto anaeróbicas quanto aeróbicas ao exercício, durante a fase de crescimento e desenvolvimento e as implicações que isso possa ter na performance da criança e potencial de treinamento.



BIONERGÉTICA DA ATIVIDADE FÍSICA

A energia para a atividade física deriva dos processos metabólicos que envolvem a degradação química dos nutrientes energéticos (exemplo: carboidratos, gordura e proteína) para produção de adenosinatrifosfato (ATP). O ATP pode ser conseguido a partir dos fosfágenos estocados, da glicose anaeróbica e aerobicamente através da respiração mitocondrial. A primeira fonte de ATP, tanto anaeróbica quanto aeróbica, dependendo da natureza da atividade física. Os treinadores em geral são capazes de reconhecer a magnitude na qual os caminhos metabólicos aeróbico e anaeróbico são utilizados durante a performance física, uma vez que esta informação pode formar a base para o desenvolvimento de programas de treinamento físico. É importante reconhecer que muitos fatores influenciam o padrão metabólico de produção energética, incluindo o estado relativo de repouso do indivíduo antes do início da atividade, a intensidade do exercício, a duração do exercício, a aptidão física do indivíduo (consumo máximo de oxigênio e capacidade de tolerância ao débito), além do interesse do indivíduo em realizar um esforço máximo. A maioria desses fatores podem ser manipulados no sentido de influenciarem o sistema de produção energética com respeito à produção total de energia necessária para a realização da atividade física.

O metabolismo anaeróbico é predominante nas atividades de alta intensidade e relativa curta duração (ex.: corrida de 100m, 400m, salto, arremesso), ao passo que atividades de longa duração e baixa intensidade (ex.: corrida a distância, nado a distância) requerem uma maior proporção de energia do metabolismo aeróbico. Embora ambos os sistemas energéticos estejam envolvidos em quase todas as formas de atividade física, uma usualmente predomina sobre a outra devido ao nível de demanda energética e duração da atividade. Como mencionado anteriormente, o perfil de produção energética do adulto tem sido adequadamente estudado e descrito para uma variedade grande de atividades. Entretanto, relativamente pouca pesquisa

tem sido dedicada à caracterização do perfil energético da criança para várias atividades físicas. Além do mais, confundindo nossa compreensão de como a criança responde metabolicamente as atividades físicas, estão os eventos que rodeiam a maturação física e o subsequente crescimento dos vários sistemas orgânicos.

CARACTERÍSTICAS DO METABOLISMO ANAERÓBICO DAS CRIANÇAS

A maioria das atividades físicas nas quais as crianças naturalmente se engajam, podem ser largamente classificadas como anaeróbicas na essência, desde que estas atividades geralmente requerem rápidas demandas energéticas e são de curta duração. É realmente raro que uma criança naturalmente se envolva em corridas de longa distância ou outras formas de atividades de endurance. Apesar do fato de as crianças aparentarem preferência para atividades físicas de curta duração, a função anaeróbica da criança pré-pubertária tem sido demonstrada ser inferior àquelas apresentadas por indivíduos pubertários ou adultos. A maioria das informações sobre o desenvolvimento da capacidade anaeróbica e potência anaeróbica tem vindo de estudos que utilizam medidas de performance como o teste de Margaria, o teste de Wingate (2) ou mais recentemente o teste de corrida de 40 segundos, introduzido por Matsudo e cols (19). Esses estudos têm demonstrado que a função anaeróbica melhora com a idade mesmo quando o crescimento e mudanças no tamanho do corpo são considerados. Kurowski (14) relatou um aumento duas vezes maior na potência anaeróbica absoluta e um aumento de aproximadamente 20% na potência anaeróbica relativa (Kcal/Kg) em 294 crianças de 9 a 16 anos no teste de Margaria. Bar'Or (3) mostrou resultados similares para o pico de potência e potência média (índices da capacidade anaeróbica) em meninos e meninas de 8 a 14 anos, usando o teste Wingate. Rocha e cols (23) também observou aumento na capacidade anaeróbica com a idade em um estudo realizado com 720 crianças de



jovens de 7 a 18 anos, quando usou o teste de corrida de 40 segundos. Assim parece que crianças apresentam níveis mais baixos de metabolismo anaeróbico e isto parece estar relacionado ao "status" de maturidade física.

Para explicar a baixa capacidade e potência anaeróbica dos pré-púberes, quatro tipos de evidência têm sido apresentadas. A primeira linha de evidência deriva de estudos, os quais têm reportado baixos níveis de lactato sanguíneo máximo nas crianças do que o observado em adultos. O lactato é um produto da glicólise anaeróbica que aparece no sangue após exercícios extenuantes e tem sido usado como um índice de intensidade do exercício. Baixos valores de lactato sanguíneo máximo têm sido reportados para crianças pré-pubertárias e pubertárias em relação aos valores observados em adultos (8,26). Erikson (8) mostrou que os valores de lactato sanguíneo máximo em rapazes de 11 a 13 anos é de aproximadamente 67% do valor adulto.

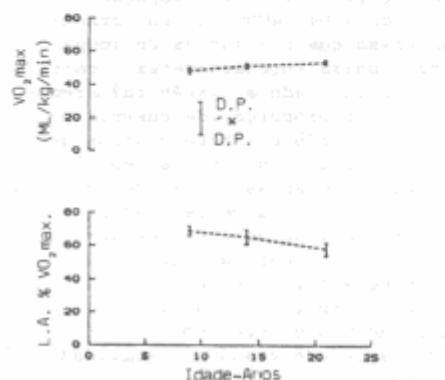
A segunda linha de evidência relaciona-se a atividade das enzimas metabólicas, obtidas de crianças através de biopsia muscular. Em geral, há evidências de que a produção energética por glicólise anaeróbica pode ser reduzida devido a baixos níveis de atividade enzimática apesar dos dados estarem baseados em número pequeno de estudos.

Erikson e cols (9) reportaram que a taxa que limita a atividade da enzima glicolítica fosforofrutoquinase (PFK) de 5 garotos de 11 a 13 anos foi somente 33% do valor adulto. Em contraste, valores similares foram encontrados para ambos os grupos para a succinato-desidrogenase, uma importante enzima do ciclo de Krebs. Estas descobertas gerais têm sido recentemente reportadas. Nos dados de Berg e cols (4) que estudaram várias enzimas metabólicas diferentes, em 33 crianças nas idades de 3 a 19 anos, a análise de regressão revelou que a piruvatoquinase e a aldolase, enzimas anaeróbicas, aumentavam através das faixas etárias variando entre 6,2 e 1,6 micromol/min./g. de tecido, ao passo que a fumarase, uma enzima aeróbica, diminuiu com a idade. Assim, considerando as evidências bioquímicas para ambos, lactato e enzimas metabólicas juntos, há evidências de que ao menos a glicólise anaeróbica

pode estar imatura e portanto incapaz de produzir ATP a partir de carboidratos no mesmo nível que em adultos.

Uma terceira linha de evidência vem dos estudos de limiar anaeróbico de crianças. O limiar anaeróbico é o ponto durante o exercício, no qual, o aumento progressivo na intensidade da atividade onde a produção energética anaeróbica passa a contribuir significativamente para a demanda de energia do exercício. Esta medida é comumente mensurada tanto pelo aumento no padrão de lactato sanguíneo (limiar do lactato) quanto pelo índice pulmonar de trocas gasosas (limiar ventilatório). Estudos recentes comparando limiar anaeróbico em crianças e adultos indicam que as crianças têm um retardado e portanto maior limiar anaeróbico (16,21,24). Uma comparação do limiar anaeróbico e $\dot{V}O_{2max}$ para homens pré-pubertário, pubertário e adultos pode ser visto na figura 1 (12). Se um limiar anaeróbico maior pode estar diretamente ligado a um metabolismo anaeróbico comprometido ou uma melhor função aeróbica isto pode ser discutido. Se, como se suspeita, a criança tem uma capacidade glicolítica comprometida para produção de ATP, pode ser que ela utilize a produção aeróbica de ATP de tal modo, retardando um maior aumento na produção de energia glicolítica, até intensidades maiores de exercício.

FIGURA 1 - Comparação do poder aeróbico máximo e nível anaeróbico (% $\dot{V}O_{2max}$) de pré-adolescentes, adolescentes e jovens adultos do sexo masculino (dados adaptados de Kanaley e Boileau, publicados).





Uma linha final de evidência que sugere o comprometimento da função anaeróbica relaciona-se à cinética do consumo do oxigênio no início do exercício. No início da atividade, a energia estocada na forma de fosfágenos e glicose é necessária para suprir a produção aeróbica devido ao retardo na produção energética deste último sistema. O oxigênio equivalente à produção energética anaeróbica no início do exercício é chamado "deficit" de oxigênio. Macek and Vavra(18) encontraram um pequeno "deficit" de O_2 para meninos de 10-11 anos comparado a adultos jovens. Freedson e cols.(10) calcularam que o tempo para o equilíbrio do $\dot{V}O_{2max}$ é positivamente relacionado com a idade em crianças. Recentemente, na Universidade de Illinois, num estudo com indivíduos do sexo masculino divididos em pré-pubertários ($n=15$), pós-pubertários ($n=15$) e adultos jovens ($n=15$), nós encontramos que o tempo para Steady State de $\dot{V}O_2$ foi 20 a 40% mais rápido nos garotos do que nos adultos. Novamente estes achados podem ocorrer devido a um melhor desenvolvimento da função aeróbica ou devido a um comprometimento do sistema anaeróbico como consequência da baixa capacidade glicolítica.

Desnecessário dizer, que há ainda muito que aprender sobre o desenvolvimento da potência anaeróbica em crianças pré-púberes e adolescentes. As evidências sugerem que com a maturidade fisiológica a performance e função anaeróbica específica podem melhorar. Permanece uma questão não resolvida para futuras pesquisas, embora haja informação ainda limitada sugerindo um aumento de 80% na PFK com treinamento físico acima de 6 semanas(8); por outro lado, a performance de crianças em atividades tipicamente anaeróbicas pode ser provavelmente melhorada com a prática, com o aumento da eficiência mecânica e desenvolvimento da habilidade motora.

CARACTERÍSTICAS AERÓBICAS DA CRIANÇA

A produção energética aeróbica é um reflexo da habilidade corporal de absorver oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$), transportar

oxigênio e utilizá-lo na célula muscular para produção de ATP. Este caminho requer um fornecimento contínuo de O_2 e portanto reflete as funções pulmonar, circulatória, bem como a respiratória. A medida mais utilizada desta função é o consumo máximo de oxigênio' ($\dot{V}O_{2max}$). O $\dot{V}O_{2max}$ é mensurado durante o exercício máximo em esteira rolante, bicicleta ergométrica, testes de pista e é um índice da capacidade máxima de utilização do oxigênio na unidade de tempo. O $\dot{V}O_{2max}$ de crianças é menor quando expresso em termos absolutos, litros por minuto (l/min), porque o tamanho corporal ou massa muscular é um fator significante. Crianças pequenas e jovens terão valores menores de $\dot{V}O_{2max}$ simplesmente porque seu tamanho corporal é menor(6). Portanto, frequentemente, é útil expressar o $\dot{V}O_{2max}$ em relação ao tamanho corporal ou consumo máximo de oxigênio por quilograma de peso corporal (ml/kg/min); é a forma de expressão mais típica. A relação entre as duas expressões pode ser vista como uma função da idade nas figuras 2 e 3, baseadas em 690 crianças nas idades de 6 a 16 anos. Quando o $\dot{V}O_{2max}$ é expresso em termos absolutos (fig.2), um incremento progressivo é observado em função da idade para ambos os sexos, com as garotas apresentando valores significativamente inferiores aos dos rapazes. Isto é esperado uma vez que a idade, tamanho corporal e massa muscular aumentam contribuindo para uma maior capacidade de consumir oxigênio. Entretanto quando o $\dot{V}O_{2max}$ é expresso em relação ao tamanho corporal (fig.3), quase nenhuma mudança no $\dot{V}O_{2max}$ com a idade é observada, sugerindo que o aumento com a idade visto na figura 2 é quase exclusivamente devido às mudanças de tamanho corporal relacionados com a idade.

É sabido que o $\dot{V}O_{2max}$ pode ser incrementado em adultos através do treinamento de resistência(1). É também conhecido que a performance de endurance pode ser melhorada em adultos através de treino e que esta melhora está relacionada ao incremento dos níveis de $\dot{V}O_{2max}$. Entretanto, o quadro não é tão claro em crianças. Um sumário de 14 estudos conduzidos em crianças e jovens



nas idades de 5 a 14 anos é apresentado na figura 4., mostrando o efeito do treino de resistência em programas com duração de 1 a 36 meses.

FIGURA 2 - Relação de potência aeróbica, máxima absoluta (l/min) em rapazes e garotas de idade de 7-16 anos.

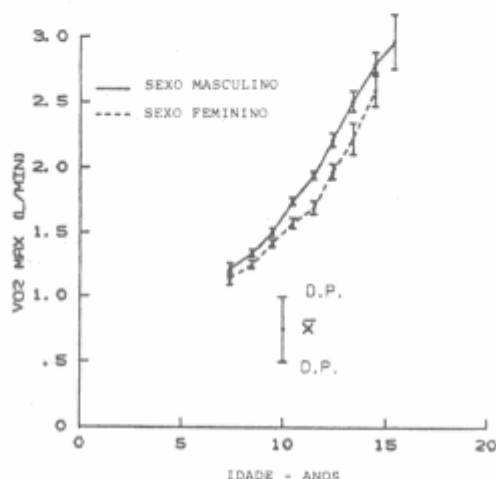
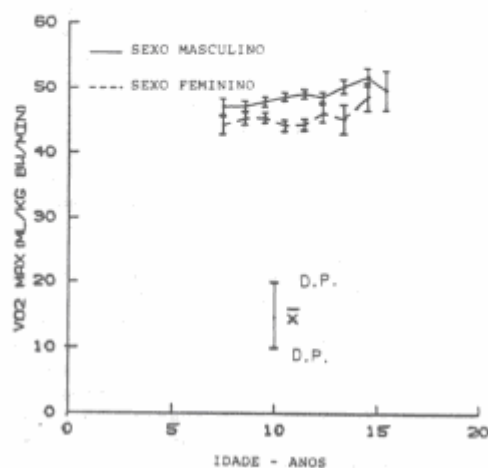
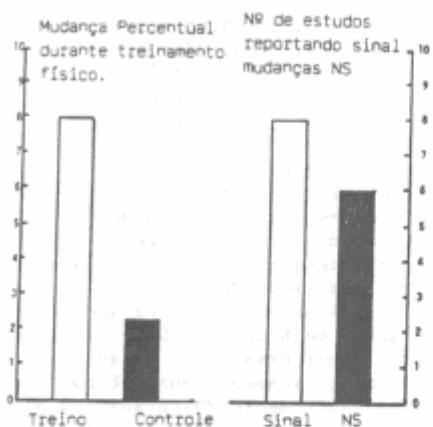


FIGURA 3 - Relação de potência anaeróbica máxima relativo (ml/kgBw/min) em rapazes e garotas de 7 a 16 anos de idade.



Oito estudos reportaram um incremento significativo no $\dot{V}O_{2max}$, enquanto 6 deles não apresentam essa melhora. Além do mais todos os 14 estudos apresentam uma média de incremento de 8% nos grupos experimentais comparado a um incremento de 2% nos grupos controle. A performance de endurance por outro lado, refletida nos tempos de corrida à distância, demonstra uma melhora, apesar da pouca ou quase nenhuma no $\dot{V}O_{2max}$. (22). Assim é possível melhorar a performance sem evidência de melhora no metabolismo aeróbico, sugerindo que o treino da resistência possa promover uma melhora no desenvolvimento das habilidades motora e biomecânica, como foi também sugerido com respeito ao treinamento anaeróbico.

FIGURA 4 - Efeito do treinamento de endurance na potência aeróbica em crianças e jovens de 5-14 anos de idade. Baseado nos dados sumarizados por Krahenbuhl et al., 1985 para programas de treinamento com duração de 1 a 36 meses.



Isto então levanta a questão sobre a treinabilidade dos sistemas metabólicos em crianças. A evidência acima sugere que as crianças podem ser metabolicamente imaturas e assim podem não ser tão receptivas às adaptações fisiológicas como ocorre em adultos(3). Enquanto estudos longitudinais em crian



ças enfocando o desenvolvimento das funções metabólicas e cardiorespiratórias são poucos as evidências disponíveis sugerem que o maior efeito do treinamento de endurance parece ser durante o período de desenvolvimento da puberdade, antes e durante o pico de velocidade de crescimento em altura (7,20). Enquanto não há evidências sugerindo que o treino de resistência é contra-indicado para crianças, os benefícios funcionais podem não ser percebidos até que a criança se torne metabolicamente madura, tempo no qual o treino pode ser mais benéfico em termos tanto de saúde quanto da performance física.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

01. Astrand, P.O. and K.Rodahl. Textbook of work physiology. New York: McGraw-Hill, 1977.
02. Bar-Or, O. Le test anaerobic de Wingate. Caracteristiques et applications. Symbioses 13:157-172, 1981.
03. Bar-Or. Pediatric Sports Medicine for the practitioner. New York: Springer-Verlag, 1983. pp.1-65.
04. Berg, A., S.S.Kim and J.Keul. Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. International Journal of Sports Medicine. 7:236-239, 1986.
05. BOILEAU, R.A., T.G. Lohman and M.H.Slaughter. Exercise and body composition of children and youth. Scandinavian Journal of Sport Science 7:17-27, 1985.
06. Bonen, A., V.H.Heyward, K.J.Cureton, R.A. Boileau and B.H. Massey. Prediction of maximal oxygen uptake in boys, ages 7-15 years. Medicine and Science in Sports 11:24-29, 1979.
07. Cunningham, D.A., D.A.Patterson and C.J.R. Blinkie. The development of the cardiorespiratory system with growth and physical activity. In Advances in Pediatric Sport Sciences. R.A.Boileau (editor). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1984 pp.85-116.
08. Eriksson, B. Physical training, oxygen supply and muscle metabolism in 11-13 year old boys. Acta Physiologica Scandinavica Suppl. 348:1-48, 1972.
09. Eriksson, B., P.GOLLNICK and B.Saltin. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 year old. Acta Physiologica Scandinavica 87:485-497, 1973.
10. Freedson, P., T.B.Gilliam, S.Sady and V.L. Katch. Transient $\dot{V}O_2$ characteristics in children at the onset of steady-rate exercise. Research Quarterly for Exercise and Sport. 52:167-173, 1981.
11. Gilliam, T.G., V.L.Katch, W.G. Thorland, and A.W. Weltman. Prevalence of coronary heart disease risk factors in active children 7 to 12 years of age. Medicine and Science in Sports. 9:21-25, 1977.
12. Kanaley, J.A. and R.A. Boileau. The onset of anaerobic threshold at there stages of physical maturity. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness (in press).
13. Krahenbuhl, G.S., J.S. Skinner and W.M.Kohrt. Developmental aspects of maximal aerobic power in children. In Exercise and Sports Sciences Reviews, R.L.Terjung (editor), 1984, pp.503-538.
14. Kurowski, T.T. Anaerobic power of children from age 9 through 15 years. M.S. Thesis. Florida State University, 1977.
15. Lauer, R.M., W.E.Connor, P.E.Leaverton, M.A.Reiter and W.R. Clark. Coronary heart disease risk factors in school children. Journal of Pediatrics 86:697-706, 1975.
16. Lehmann, M., J.Keul and A. Hesse. Zur aeroben und anaeroben kapazität sowie catecholamineketi von kindern und jugendlichen wahren langdauernder submaximaler körperarbeit. European Journal of Applied Physiology and Occupation Physiology 48:135-145, 1982.
17. Lohman, T.G., R.A. Boileau and M.H. Slaughter. Body composition in children and youth. In Advances in Pediatric Sport Sciences vol.1. Biological Issues. R.A. Boileau (editor). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1984, pp. 29-57.
18. Macek, M. and J.Vavra. The adjustment in oxygen uptake at the onset of exercise: comparison between prepubertal boys and young adults. International Journal of Sports Medicine. 1:75-77, 1980.
19. Matsudo, V.K.R. and S.M.Perez. Forty second run test: Characteristics and application. CELAFISCS Dez anos de contribuição as Ciências do Esporte :151-159, 1986.
20. Mirwald, R.L., D.A. Bailey, N.Cameron and R.L. Rasmussen. Longitudinal comparison of aerobic power in active and inactive boys aged 7,0 to 17,0 years. Annals of Human Biology 8:405-414, 1981.
21. Reybrouck, T., M.Weymans, H.Stijns, J.Knops and L. van der Hanwaert. Ventilatory anaerobic threshold in healthy children. European Journal of Applied and Occupational Physiology. 54: 278-284, 1985.
22. Riner, W.F. and R.A. Boileau. Effects of physical training on cardiorespiratory function and physical performance of children: a literaturun



- review. Illinois Journal of Health Physical Education and Recreation, 1:7-9, 1979.
3. Rocha, T.T., O.C. Mendes and V.K.R. Matsudo. Teste de Corrida de 40 segundos em escolares de 7 a 18 anos. CELAFISCS Dez anos de Contribuição às Ciências do Esporte, 1: 163 (resumo), 1986.
4. Weymans, M., T. Reybrouck, H. Stijnfs and J. Knops. Influence of age and sex on ventilatory anaerobic threshold in children. In Children and Exercise XI, R.A. Binkhorst, H.C.G. Kemper and W.H.M. Saris (editors). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, vol. 15, 1985. pp. 114-118.
25. Wilmore, J.H. and J.J. McNamara. Prevalence of coronary disease risk factors in boys, 8 to 12 years of age. Journal of Pediatrics 84:527-533, 1974.
26. Wirth, A., E. Trager, K. Scheele, D. Mayer, K. Diehm, K. Reischle and H. Weicker. Cardiopulmonary adjustment and metabolic response to maximal and submaximal physical exercise of boys and girls at different stages of maturity. European Journal of Applied and Occupational Physiology 47:93-104, 1981.

Claudia Monaci [Inglês]
Nanci Maria de França [Inglês]

Endereço do Autor/Author Address

Richard A. Boileau
University of Illinois at Urbana-Champaign
125 Freer Hall
906 S. Goodwin Ave.
Urbana, IL 61801
U.S.A.