

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA BIOMECÂNICA MUSCULAR
ESQUELÉTICA E DAS HABILIDADES MOTORAS DE
ESCOLARES EM RISCO DE DESNUTRIÇÃO**

MARIA DAS GRAÇAS PAIVA

RECIFE
2008

**AVALIAÇÃO DA BIOMECÂNICA MUSCULAR
ESQUELÉTICA E DAS HABILIDADES MOTORAS DE
ESCOLARES EM RISCO DE DESNUTRIÇÃO**

MARIA DAS GRAÇAS PAIVA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde, da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do grau de Doutor em Nutrição.

ORIENTADORES:

Prof.º Dr. Raul Manhães de Castro

Prof.^a Dra. Mônica Maria Osório

RECIFE
2008

RECIFE
2008

Paiva, Maria das Graças

Avaliação da biomecânica muscular esquelética e das habilidades motoras de escolares em risco de desnutrição/ Maria das Graças Paiva. – Recife : O Autor, 2008.

178 folhas : Il.; fig.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCS. Nutrição, 2008.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Desnutrição. 2. Biomecânica Muscular. 3.
Habilidade Motora. 4. Desenvolvimento Infantil
I.Título.

612.7
612.74

CDU (2.ed.)
CDD (22.ed.)

UFPE
CCS2008-139

**DESNUTRIÇÃO PRECOCE: REPERCUSSÕES SOBRE AS
HABILIDADES MOTORAS E BIOMECÂNICA MUSCULAR EM
CRIANÇAS**

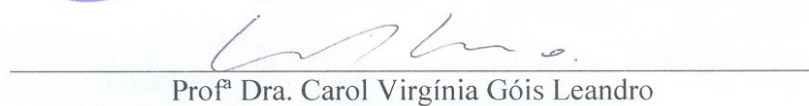
MARIA DAS GRAÇAS PAIVA

Tese aprovada em 13 de outubro de 2008.

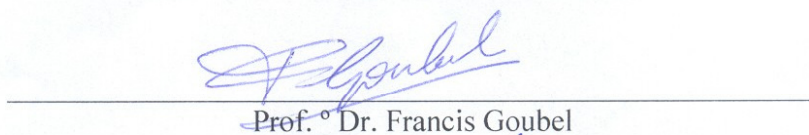
BANCA EXAMINADORA



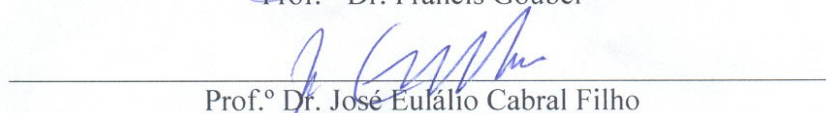
Prof.ª Dra. Arméle de Fátima Dornelas de Andrade



Prof.ª Dra. Carol Virgínia Góis Leandro



Prof.º Dr. Francis Goubel



Prof.º Dr. José Eulálio Cabral Filho



Prof.º Dr. Sebastião Rogério de Freitas Silva

***À Mariana, minha filha, por você e para
você.***

AGRADECIMENTOS

A DEUS, causa primária de todas as coisas.

Ao meu pai, José Benedito Paiva (*in memorian*), pelos ensinamentos que foram transmitidos entre as ruidosas alegrias e o silêncio da sabedoria.

A minha família, meu porto seguro, Rosário Paiva, minha mãe, Leide (Beleu), Jeane (Jê) e Paivinha (Gordo) meus queridos irmãos, meu anjo guardião, Maria, e Sarah, minha sobrinha, pelo apoio e incentivo incondicionais.

A minha Mariana, filha querida, por tudo o que temos vivido e pelo que há de vir.

Ao meu marido, Valério Vieira, pela cumplicidade, companheirismo e sobretudo, lealdade.

Aos meus sobrinhos queridos, Lorena, Raissa, Ítalo e Murilo por terem sido protagonistas desse enredo e sentado numa cadeira francesa com certeza, tia Gracinha ama muito vocês.

À Kátia, minha cunhada, Carminha Guerra, Sandra e Francisco Santiago pela amizade, carinho e orações.

Meu agradecimento especial a todas as crianças que fizeram parte deste estudo, pela confiança, ternura e ensinamento de vida, ter conhecido vocês é lembrar que ser criança é ser feliz com muito pouco, é fazer amigos antes mesmo de saber o nome deles é lembrar que ser criança é o que a gente nunca deveria deixar de ser.

Aos orientadores, Prof^o Dr. Raul Manhães de Castro e Prof.^a Dra. Mônica Maria Osório, pela oportunidade de crescimento.

Aos abnegados Prof.^a Dra. Karla Mônica Ferraz Teixeira de Barros e Dr. Daniel Lambertz, mais do que responsáveis, vocês foram comprometidos. Agentes facilitadores de toda esta jornada meus sinceros agradecimentos pela generosidade e acima de tudo ter-me permitido compartilhar desse sonho. Muito obrigada, e *danke*!

Aos professores da Pós-Graduação do Departamento de Nutrição e a secretária Neci Maria Santos do Nascimento.

As minhas amigas, Jacqueline, Ladjane, Sandra, Mirian, Dayse e Inês por através da nossa amizade de 28 anos, tornarem mais leve o fardo a ser carregado,

“sempre recebi os elogios como incentivos dos amigos para que eu venha a ser o que tenho consciência do que ainda não sou”, Chico Xavier.

Aos colegas do Departamento de Fisioterapia – UFPE, em especial as Prof.^{as} Fabiana Gouveia e Socorro Brasileiro por terem assumido encargos acadêmicos e administrativos os quais contribuíram para o meu ingresso e conclusão de doutoramento; a Prof.^a Arméle Dornelas pelo incentivo constante e exemplo de perseverança e Prof. ° Joaquim Sérgio que mesmo distante envia sua positividade e ao Sr. João Carlos, pelas palavras de encorajamento.

Aos colegas do NNI , em especial, Sônia Marinho, Rogério e Lúcia Pires.

Aos estagiários do Laboratório de Biomecânica , Paulo Gurgel e Thaysa Souza por manterem acesa a chama do eterno aprendiz e da solidariedade.

Às instituições que autorizaram a pesquisa, Instituto Nossa Senhora de Fátima-Recife, na pessoa da Irmã Ivonete e Secretaria de Saúde do Município de Gameleira, em especial aos Agentes Comunitários de Saúde Lucineide e Kilma.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para conclusão deste trabalho.

RESUMO

A presente tese investigou o impacto do estado nutricional sobre as propriedades mecânicas do músculo esquelético e o desempenho das habilidades motoras em escolares pré-adolescentes da zona da mata de Pernambuco. Para isso, o ergômetro de tornozelo transportável foi utilizado, permitindo a caracterização dos músculos flexores plantares em termos das propriedades contráteis e elásticas. A habilidade motora foi avaliada pelo uso de uma escala de desenvolvimento motor, já validada em crianças brasileiras. A apresentação da tese foi feita uma revisão de literatura , seguida de 4 artigos originais. O primeiro artigo descreveu um estudo de reprodutibilidade da resistência músculo-tendinosa , avaliado pelo método quick-release. O segundo artigo foi um estudo de validação em pré-adolescentes eutróficos (7-9 anos de idade) no Nordeste do Brasil. Este estudo mostrou a evolução relacionada à idade das propriedades contráteis e elásticas do grupo muscular tríceps sural (TS), mostrando notadamente um aumento no torque e uma diminuição da resistência músculo-tendinosa com a idade. Esta evolução tinha sido já relatada em pré-adolescentes franceses. O resultado deste estudo servirá como referência para a população da região metropolitana. O terceiro artigo avaliou as propriedades mecânicas do TS em escolares pré-adolescentes de 9 anos que sofreram risco de desnutrição pregressa. Um grupo controle eutrófico da mesma idade foi testado também. Este estudo foi conduzido na zona da mata de Pernambuco. Os resultados indicaram que o risco de desnutrição pregressa pode modificar as propriedades do grupo muscular TS, com notadamente uma redução no torque muscular e um aumento na resistência músculo-tendinosa. Esta evolução foi atribuída à atrofia muscular e a um atraso no processo de maturação das estruturas elásticas, respectivamente. Além disso, escolares pré-adolescentes de 9 anos com risco nutricional mostraram propriedades elásticas similares àquelas de indivíduos mais jovens da região metropolitana. O quarto artigo analisou o desenvolvimento motor pelo uso dos testes de habilidades. Para este estudo, desenvolvimento motor fino, coordenação global e equilíbrio foram testados. O principal resultado do estudo mostrou um atraso de 10 meses no teste de equilíbrio para os pré-adolescentes do grupo de risco comparado a sua idade cronológica. Fatores ambientais e biomecânicos foram considerados para explicar estes atrasos. Estes estudos confirmam o suspeito atraso na maturação das estruturas elásticas. Uma consideração final pode ser feita: foi mostrado que o ergômetro de tornozelo dá resultados reproduzíveis e que isto é útil no campo experimental. Graças a essas medições, foi possível para estabelecer a influência da desnutrição nos músculos esqueléticos, a qual foi confirmada pelos testes de habilidades motoras. Os resultados deste trabalho podem ajudar a estabelecer critérios objetivos para avaliar a desnutrição. Os resultados também podem servir como banco de dados para estudos de seguimento do desenvolvimento dos músculos esqueléticos em crianças desnutridas.

Palavras-chave: **desnutrição; biomecânica muscular; habilidade motora**

ABSTRACT

The present thesis investigated the impact of the nutritional state on skeletal muscle mechanical properties and motor abilities performance in prepubertal schoolchildren of the rural zone of Pernambuco. To do so, a transportable ankle ergometer device was used, allowing the characterization of the ankle plantar flexor muscles in terms of contractile and elastic properties. Motor ability was achieved by using a motor development scale, already validated for Brazilian children. The presentation of the thesis will be done in a review of the literature, followed by four original articles. The first article described a reproducibility study of musculotendinous stiffness, achieved by the use of the quick-release method. The second article is a validation study in euthrophic prepubertal children (ages 7 to 9 years) in the Northeast of Brazil. This study shows the age related evolution of contractile and elastic properties of the triceps surae (TS) muscle group, showing notably an increase in torque and a decrease in musculotendinous stiffness with age. This evolution had been already reported in French prepubertal children. The result of this study will serve as a metropolitan city reference population. The third article evaluated the mechanical properties of the TS in 9 years old prepubertal schoolchildren suffering from risk of early malnutrition. A control euthrophic group of the same age was also tested. This study was conducted in the rural zone of Pernambuco. The results indicated that risk of early malnutrition can modify the mechanical properties of the TS muscle group, with notably a reduction in muscle torque and an increase in musculotendinous stiffness. This evolution was notably attributed to muscle atrophy and a delay in the maturation process of elastic structures, respectively. Indeed, 9 years old malnourished prepubertal children showed elastic properties similar to those of their younger counterparts of the metropolitan city. The fourth article analyzed the motor development by using motor ability tests. For this study, fine motor development, global coordination and balance was tested. The main result of the study showed a delay of 10 months in the balance test for the prepubertal children of the risk group compared to their chronological age. Biomechanical and environmental factors were put forward to explain this delay. This study confirms the suspected delay in maturation of elastic structures. A final consideration can be made: it was shown that the transportable ankle ergometer device gives reproducible results and that it is useful in field experiments. Thanks to these measurements, it was possible to establish the influence of malnutrition in skeletal muscles, which was confirmed by the motor ability test. The results of this work can be helpful in the establishment objective criteria to evaluate malnutrition. The results can also serve as basic data for follow-up studies of the development of skeletal muscles in malnourished children.

Key-words: malnutrition; muscle biomechanics; motor ability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Pirâmide do desenvolvimento motor	19
Figura 2	Representação da estrutura do músculo esquelético	24
Figura 3	Modelo muscular a três componentes	27
Figura 4	Representação do ergômetro de tornozelo transportável	42
Figura 5	Vista frontal do pedal	43
Figura 6	Unidade diretora do ergômetro	44
Figura 7	Osciloscópio digital	44
Figura 8	Eletromiógrafo	44
Figura 9	Eletroestimulador	45
Figura10	Assepsia da pele	46
Figura11	Colocação dos eletrodos	46
Figura12	Verificação dos ângulos articulares	47
Figura13	Fixação no pedal	47
Figura14	Posicionamento na cadeira	47
Figura15	Representação da avaliação	48
Figura16	Prova de motricidade fina	51
Figura17	Prova de motricidade global	51
Figura18	Prova de equilíbrio	52
Figura 19	Prova de lateralidade	52

LISTA DE ABREVIATURAS

WHO	<i>World Health Organization</i> (Organização Mundial de Saúde)
DM	Desenvolvimento motor
SN	Sistema nervosa
GH	<i>Growth Homone</i> (hormônio do crescimento)
UM	Unidade motora
CC	componente contrátil
CES	Componente elástico em série
CEP	Componente elástico em paralelo
EDM	Escala de desenvolvimento motor
ACS	Agente Comunitário de Saúde
CNRS	Centro Nacional de Pesquisas Espaciais
UTC	Universidade de Tecnologia de Compiègne
F _{máx}	Força máxima
EMG	eletromiógrafo
Ag	prata
AgCl	Cloreto de prata
TA	tibial anterior
TS	tríceps sural
SOL	solear
CVM	<i>contraction voluntary maximal</i> (contração voluntária máxima).
CT	<i>contraction time</i> (tempo de contração)
HRT	<i>half relaxation time</i> (tempo de médio relaxamento)
Pt	pico de torque
IC	idade cronológica
IMG	idade motora geral
QMG	quociente motor geral
SI _{mt}	<i>índice de resistência musculotendinous</i> (índice de resistência músculo-tendínea)
N	Newton
Nm	<i>Newtometer</i> (newtometro)
QR	<i>quick –relaease</i> (liberação rápida)
CV	coeficiente de variação
SEM	<i>standard error mean</i> (média do erro padrão)

SUMÁRIO

	LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
	LISTA DE ABREVIATURAS	
	RESUMO	
	ABSTRACT	
1	APRESENTAÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	
	1 Crescimento e desenvolvimento	16
	2 Desenvolvimento motor	17
	2.1 Modelos Teóricos na Compreensão do Desenvolvimento motor	
	2.2 Conceitos Fundamentais	
	3 Fatores nutricionais	20
	4 Sistema Muscular	23
	4.1 Considerações Anatômicas e Fisiológicas	
	4.2 Propriedades Mecânicas Musculares	
	4.3 Plasticidade das Fibras Musculares	
	5 Repercussões da desnutrição sobre o sistema locomotor	33
	HIPÓTESES	37
	OBJETIVOS	38
	MÉTODOS	39
4	RESULTADOS – ARTIGOS ORIGINAIS	
4.1	ARTIGO 1	56
	A reproducibility study on musculotendinous stiffness quantification using , a new transportable ankle ergometer device.	
4.1	ARTIGO 2	69
	Mechanical properties of prepubertal children in the Northeast of Brazil: A validation study	
4.2	ARTIGO 3	92
	Mechanical properties of the plantar flexor muscles in prepubertal children with different nutritional status	
4.3	ARTIGO 4	116
	Evaluation of motor abilities in prepubertal children with indicator of risk to early malnutrition.	
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
6	REFERÊNCIAS	146
7	ANEXOS	162

APRESENTAÇÃO

1 APRESENTAÇÃO

Embora a desnutrição infantil tenha sido nos últimos anos expressivamente reduzida no Brasil, ainda existem crianças que sofrem suas conseqüências tardias. Entretanto, os métodos para diagnóstico destas conseqüências apresentam limitações.

Um dos meios recomendados pelos órgãos nacionais e internacionais para avaliar o estado nutricional é a antropometria. Porém, o registro antropométrico rotineiramente usado nas unidades de saúde, se por um lado apresenta a vantagem de ser um método de baixo custo e de simples utilização, por outro possui a desvantagem de não identificar outras deficiências.

Alterações do estado nutricional podem afetar muitos aspectos da saúde da criança, incluindo o crescimento e desenvolvimento, atividade física e resposta a doenças. A literatura mostra alguns estudos que avaliam o impacto negativo da desnutrição sobre o desempenho cognitivo em crianças mais jovens, mas poucos são aqueles que focalizam o desempenho motor. Dos trabalhos disponíveis, a maioria se baseia em escalas estrangeiras.

Sabe-se que os desvios nutricionais adquirem maior gravidade quando ocorrem em crianças mais jovens. Porém, é durante a idade escolar, onde as habilidades motoras e cognitivas são mais complexas e solicitadas, que a adequação nutricional irá influenciar positiva ou negativamente o desempenho desse indivíduo.

Observa-se uma limitação de dados na literatura a respeito de pesquisas relacionadas à nutrição na idade escolar, além da utilização de métodos que oferecem avaliações limitadas desta população. Tais constatações, oriundas de uma revisão da literatura utilizando os bancos de dados *MEDLINE*, *LILACS* e *SCIELO*, compreendendo o período de 1938 a 2008, acerca dos processos de crescimento e desenvolvimento, a influência do estado nutricional e as distintas repercussões no organismo, originaram algumas reflexões.

A primeira delas foi em relação às várias evidências das alterações fisiológicas no Sistema Nervoso conseqüente à desnutrição, tanto em animais quanto em humanos, e a escassez de dados referentes a outros sistemas.

A segunda reflexão baseou-se na limitação diagnóstica dos métodos de avaliação rotineiramente utilizados para classificação nutricional, bem como, do número limitado de estudos direcionados à idade escolar.

Finalmente, uma terceira reflexão deveu-se às evidências em estudos experimentais

sobre conseqüências da desnutrição no comportamento muscular, atividade neuromecânica e desenvolvimento da atividade locomotora, contrastando com um número limitado de estudos envolvendo humanos. Questionou-se sobre as possíveis repercussões sobre o desenvolvimento de indivíduos que vivem em ambientes desfavoráveis.

Nesse particular, ao longo dos anos os estudos desenvolvidos no Laboratório de Fisiologia da Nutrição Naíde Teodósio – LAFFINT, têm trazido achados importantes sobre a desnutrição durante o período crítico, em ratos, no desenvolvimento somático e sensorio-motor e no padrão comportamental.

A partir de 2003, pesquisadores dos Departamentos de Nutrição e de Fisioterapia da Universidade Federal de Pernambuco, em conjunto com docentes da Universidade de Tecnologia de Compiègne – França (UTC), iniciaram o trabalho numa linha de pesquisa para avaliar as propriedades biomecânicas da musculatura esquelética em animais submetidos à desnutrição precoce. Tal proposta abriu para o grupo de pesquisa *Nutrição Neuropsicofarmacologia e Imunidade (NNI)* novas perspectivas de linhas de trabalho. O fortalecimento da parceria permitiu o surgimento do Laboratório de Estudos em Nutrição e Instrumentação Biomédica- LENIB, localizado no Departamento de Nutrição da UFPE, o qual foi inaugurado em 11/12/2006.

Além de pesquisas utilizando modelos animais, a UTC também possui uma linha de pesquisa voltada para identificação de propriedades mecânicas nos músculos esqueléticos de crianças, adolescentes e adultos utilizando-se de um instrumento denominado Ergômetro de Tornozelo. O referido instrumento proporciona a avaliação qualitativa e quantitativa das propriedades elásticas e contráteis do músculo e traz à nossa realidade uma nova ferramenta de avaliação para a população infantil, notadamente atingida por insultos nutricionais em nossa região.

O intercâmbio entre as equipes brasileira e francesa possibilitou a elaboração de um equipamento adaptado, o Ergômetro de Tornozelo transportável (Bio2M ®, France), protótipo especialmente desenvolvido para avaliação em crianças. Além de ter favorecido o aperfeiçoamento da técnica e do equipamento empregado, o equipamento possibilitou a avaliação de indivíduos em campo. Conseqüentemente, uma avaliação cada vez mais precisa do sistema muscular.

Inicialmente foi realizado um estudo de reprodutibilidade com adultos jovens do sexo masculino, a fim de verificar a capacidade de avaliação do Ergômetro de Tornozelo

transportável. Os resultados do mesmo foram descritos em forma de artigo, intitulado “*Quantification of musculotendinous stiffness using a new transportable ankle ergometer device*”, o qual foi aceito para publicação em forma de *Short Communication* pelo **Journal of Biomechanics**.

Uma vez comprovada a capacidade de avaliação do Ergômetro de Tornozelo, foi necessário submetê-lo a uma validação específica realizando um estudo piloto com crianças, finalidade para a qual o instrumento foi especialmente desenvolvido. Tal estudo foi realizado na cidade do Recife, com crianças eutróficas de 7 a 9 anos de idade. Através deste estudo, tornou-se possível além da validação do instrumento para uso em crianças, a definição da faixa etária a ser avaliada no estudo final sobre os efeitos da desnutrição precoce. Seus resultados possibilitaram a elaboração do artigo “*Mechanical properties of prepubertal children in the Northeast of Brazil: A validation study*”, submetido à publicação no **Brazilian Journal of Biomechanics**.

O conhecimento produzido através desses estudos embasou alguns questionamentos sobre o comportamento das propriedades mecânicas e desenvolvimento das habilidades motoras em crianças de diferente classificação nutricional na idade escolar. Traçou-se a seguinte pergunta condutora:

- As crianças poderiam ter suas propriedades musculares afetadas quando submetidas a condições de risco, problemas de saúde e nutrição, conforme se observa na Zona da Mata de Pernambuco?

A fim de responder esse questionamento, delineou-se o seguinte objetivo:

- Analisar as propriedades mecânicas dos músculos flexores plantares em escolares classificados como risco nutricional, comparando-as com crianças eutróficas, verificando a influência exercida pelo estado nutricional.

Por tais motivos, decidiu-se realizar esta investigação em escolares da Zona da Mata do Estado de Pernambuco, região que tem como principal atividade econômica a monocultura açucareira e que apresenta condições precárias de vida da sua população, tornando-a mais exposta aos problemas de saúde e nutrição. No período de fevereiro de 2007 a abril de 2008, a equipe de trabalho se deslocou para a cidade de Gameleira, Zona da Mata Meridional do estado de Pernambuco.

Durante esse período seria necessário localizar os participantes deste estudo. Alguns problemas se apresentaram como dificuldade para localização da amostra pretendida, como dificuldade de acesso devido às condições climáticas, e mudança de

endereço residencial dentro do mesmo município e entre cidades vizinhas. A equipe contou com o apoio das Secretarias da Saúde e Educação do Município de Gameleira, que disponibilizou Agentes Comunitários de Saúde (ACS) para participar da busca em domicílios e escolas da zona urbana e rural (engenhos) , com objetivo de localizar o maior número de participantes. Além disso, uma sala foi disponibilizada na sede da Secretaria de Saúde, para a montagem do “laboratório de campo” e realização das avaliações biomecânicas.

Os resultados desta pesquisa são apresentados no artigo original intitulado “*Mechanical properties of the plantar flexor muscles in prepubertal children with different nutritional status*” a ser submetido a publicação.

Em posse da informação de que o estado nutricional da criança pode influenciar seu desempenho muscular, além de cognitivo e/ou motor segundo a literatura, traçou-se a seguinte pergunta condutora:

- ***Escolares expostos precocemente a fatores de risco nutricionais podem apresentar comprometimento no desempenho das habilidades motoras?***

Com a finalidade de responder este questionamento, delineou-se o seguinte objetivo:

- Investigar a associação entre o estado nutricional e o desempenho das habilidades motoras em escolares.

Os resultados desta pesquisa são apresentados no artigo intitulado “*Evaluation of the motor abilities in prepubertal children with and without risk malnutrition*”, submetido à publicação no **Child Development**.

Após os artigos, apresenta-se neste manuscrito o capítulo referente às considerações finais e recomendações.

REVISÃO DA LITERATURA

REVISÃO DA LITERATURA

1.0 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO

A seqüência de modificações físicas e funcionais que ocorrem no indivíduo desde a concepção, durante a vida uterina e depois do nascimento, corresponde ao processo de crescimento e desenvolvimento (Martell *et al.*, 1979).

Pode-se dizer assim que o crescimento do ser humano é um processo dinâmico e contínuo que ocorre desde a concepção até o final da vida, e se expressa pelo tamanho corporal (Jordán, 1988; WHO, 1995; Ministério da Saúde, 2002).

Enquanto o crescimento significa aumento físico do corpo, podendo ser mensurado em gramas ou centímetros, o desenvolvimento compreende um aumento da capacidade do indivíduo em realizar funções mais complexas (Marcondes *et al.*, 1994)

Entretanto, apesar do crescimento e desenvolvimento serem descritos como fenômenos diferentes na sua concepção biológica, ambos são paralelos em seu curso e integrados em seu significado (Marcondes, 1994). Ambos estão sujeitos às influências intrínsecas (orgânicas) e extrínsecas (ambientais), que podem proteger ou comprometer a expressão do potencial genético do indivíduo (Smith *et al.*, 1976; Tanner, 1985).

A influência do ambiente ocorre desde a vida intra-uterina até a idade adulta, deste modo, o crescimento fetal entre a concepção e o nascimento é influenciado por fatores genéticos, neuroendócrinos e ambientais em geral (Tanner, 1990). Após o nascimento, o meio ambiente apresenta uma contínua variabilidade, o que obriga o indivíduo a uma constante adaptação fisiológica: quanto mais jovem o indivíduo, mais dependente e vulnerável em relação ao ambiente (Ministério da Saúde, 2002). Esta afirmação se reveste de maior importância ao se levar em consideração que, no início da vida, grande quantidade de eventos celulares e rápida multiplicação celular de tecidos e órgãos estão ocorrendo, sendo este período denominado como *período crítico de desenvolvimento* (Dobbing, 1970; Smith, 1977; Wilson et al, 1988).

Embora a definição de período crítico de desenvolvimento esteja relacionada principalmente ao Sistema Nervoso, a literatura demonstra a existência de “períodos críticos” específicos no desenvolvimento de várias funções orgânicas (Resnick et al, 1979; Arora e Rochester, 1982; Brunser, 1990; Paixão et al, 2001; Marinho et al, 2004).

No homem, este período inicia-se no terceiro trimestre do desenvolvimento intra-uterino, continuando-se por dois a quatro anos após o nascimento (Morgane *et al.*, 1978).

É também no início da vida que uma série de habilidades está sendo adquirida, no desenvolvimento motor (DM) e cognitivo.

2 DESENVOLVIMENTO MOTOR

2.1 Modelos Teóricos na Compreensão do Desenvolvimento Motor

O desenvolvimento humano em geral possui características intrigantes, e o motor em particular, levou muitos autores a se empenharem em compreendê-lo

Os precursores de estudos sobre o desenvolvimento motor basearam seus estudos apenas em observações de lactentes e crianças, sem descrições específicas, exames ou mensurações que permitissem quantificar os resultados (Clark e Whitall, 1989).

Em meados da década de 20, os estudos de Gesell e McGraw descreveram em seu estudo o comportamento na primeira infância, o qual resultou na elaboração da hipótese maturacional, onde a relação entre estrutura (desenvolvimento e maturação do SN) e função (relacionada ao sistema) foi a questão central (Robertson, 1989). Esses estudiosos admitiam que o DM obedecia a uma seqüência hierárquica e invariável, na dependência da maturação do córtex cerebral (Connolly, 1986; Fonseca, 1988; Clark e Whitall, 1989).

Entre 1946-1970, os pesquisadores se preocuparam em conhecer mais especificamente as modificações da resposta motora em função da idade (Fonseca, 2002).

Durante o período de 1970-1985, surgiram estudos orientados para a compreensão do processo de aprendizagem e desenvolvimento dos movimentos, na tentativa de melhor descrevê-lo (Fuchs e Zaichkowsky, 1986).

Finalmente chegou-se a uma tendência mais seguida atualmente, denominada de Teoria dos Sistemas Dinâmicos, a qual tem por objetivo atribuir novos conceitos e explicações às transformações motoras ao longo da vida. Tal abordagem descreve o DM como um processo descontínuo e não linear, no qual o organismo é capaz de se auto-organizar em situações e contextos específicos para adquirir habilidade motora (Fonseca,

2002; Gallahue e Ozmun, 2003). Foram introduzidos novos métodos de investigação para análise e interpretação dos movimentos, levando-se em consideração o ambiente, a tarefa executada e a biomecânica do DM nos diversos grupos etários e em circunstâncias diferentes (Connolly, 2000; Fonseca, 2002).

2.2 Conceitos Fundamentais

Uma das características do DM é que a motricidade fisiológica é marcada por similaridade e diversidade intra e inter- individual na seqüência do desenvolvimento (Connolly, 1986). Trata-se de uma contínua alteração no comportamento ao longo da vida, que acontece por meio das necessidades da tarefa, da biologia do indivíduo e do ambiente em que ele vive, sendo viabilizado pelo processo evolutivo biológico e social (Fonseca, 1988).

Enquanto anteriormente era consenso que o DM ocorria por inibição e/ou facilitação de reflexos neonatais para que o padrão motor pudesse se estabelecer, atualmente se considera o comportamento precoce como sendo pré-funcional (Connolly, 1986; Manoel, 2000). Essa forma imatura de comportamento motor se aperfeiçoa à medida que a criança se locomove e entra em contato com o seu ambiente (Fonseca, 1988). A infância é assim caracterizada pela aquisição de amplo espectro de habilidades motoras, onde em cada idade o movimento toma características significativas e repercute no desenvolvimento da criança (Clark e Whitall, 1989; Santos *et al.*, 2004)

Com o avanço da idade as proporções corporais mudam, requerendo reorganização de todos os sistemas, e influenciando o desenvolvimento das habilidades motoras e do comportamento motor (Haywood, 2004; Caetano *et al.*, 2005). Tais habilidades podem ser divididas em 3 categorias de movimentos: estabilizadoras (equilíbrio e sustentação), locomotoras (mudanças de localização) e manipulativas (apreensão e recepção de objetos); estas categorias de acordo com cada faixa etária, se apresentarão em fases diferentes (Manoel, 2000; Gallahue e Ozmun, 2003).

Durante a primeira infância (2-6 anos), a criança apresenta as habilidades percepto-motoras em pleno desenvolvimento, mas confunde direção, esquema corporal, temporal e espacial (Andrade, Luft e Rolim, 2004).

Na segunda infância (6-10 anos) apresentam preferência manual e já estão estabelecidos os mecanismos perceptivos visuais, havendo transição das habilidades fundamentais para as refinadas (Gallahue e Ozmun, 2003).

É na idade pré-escolar que a base para as habilidades motoras globais e finas é estabelecida, onde as crianças aumentam o seu repertório motor (Clark, 1994; Manoel, 1984; Connolly, 2000; Pappalia, 2000). É durante a segunda infância a estabilidade dos mecanismos perceptivos visuais e instalado período de transição, permitirão a criança chegar à idade escolar com repertório motor suficiente para lidar com habilidade de demanda básica em casa e no ambiente escolar (Handerson e Sugden, 1992).

O desenvolvimento do domínio corporal é um dos fatores fundamentais no processo de aprendizagem do ser humano, em especial no período em que está na escola (Negrine, 1986; Freire, 1989). Entende-se por motricidade global, um conjunto de movimentos coordenado por grandes grupos musculares, enquanto que a motricidade fina relaciona-se à atividade manual com emprego mínimo de força (Rosa Neto, 2002). No decorrer da vida, é necessário ajustar, compensar ou mudar, a fim de obter, melhorar ou manter a habilidade, essas mudanças ocorrem numa escala de tempo, de meses, anos ou décadas, figura 1(Pappalia e Olds, 2000; Caetano *et al.*, 2005).

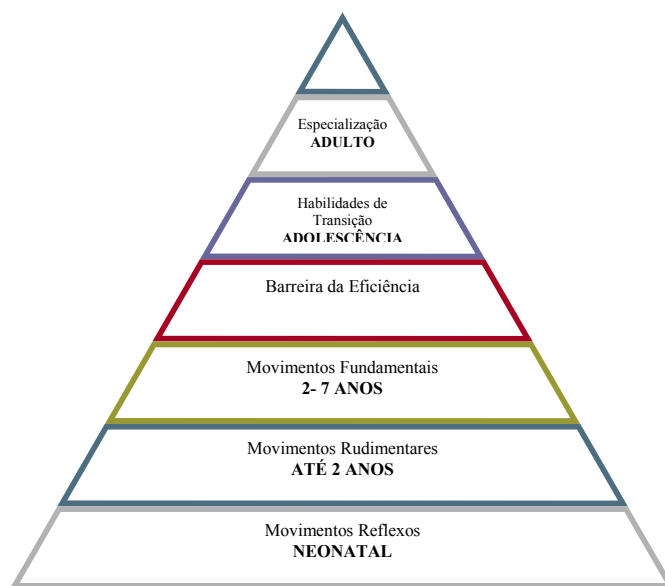


Figura 1 Pirâmide do Desenvolvimento Motor

Fonte: Gallahue, 1989.

A capacidade de movimentar-se das crianças é essencial para que elas possam interagir apropriadamente com o meio ambiente em que vive. No entanto, a influência de diferentes estímulos pode causar dissociação entre a fase de desenvolvimento e a

faixa etária (Newell, 2003). Sendo assim, o comportamento motor na infância apresenta-se como um importante indicativo do desenvolvimento global da criança, e é sobre a infância que se concentra a maioria dos estudos (Clark e Whitall, 1989; Whitall, 1995; Connolly, 2000).

Para possibilitar a avaliação do DM nas diferentes faixas etárias, foram desenvolvidos diversos testes, os quais estabelecem o comportamento de normalidade do DM, como parte dos estudos do crescimento (Gallahue, 1989).

Apesar disso, ainda existe uma grande dificuldade para a interpretação das informações relacionadas às avaliações do DM, visto que os resultados dos testes envolvem uma multiplicidade de fatores como: aspectos culturais e ambientais, além dos processos de crescimento, desenvolvimento e maturação (Guedes e Guedes, 1997)

Todavia, outros fatores podem interferir nos resultados obtidos, a familiarização com as tarefas motoras exigidas nos testes, a interação dos fatores genéticos do indivíduo com o ambiente e características étnicas (Malina e Bouchard, 2002). Entre esses fatores, destaca-se a nutrição, tomando como base algumas pesquisas realizadas em países em desenvolvimento as quais têm demonstrado associação entre o DM, estado nutricional e situação sócio-econômica da família (Halpern, *et al.*, 1996).

3 FATORES NUTRICIONAIS

O estado de nutrição normal ou patológico, traduz o nível de equilíbrio ou desajuste entre biológicos e sociais (Batista-Filho, 1996).

Dentre os fatores biológicos destacam-se a prematuridade, o baixo peso ao nascer, as anomalias congênitas, os distúrbios nutricionais e infecções recorrentes (Miranda, *et al.*, 2003). Quanto aos fatores sociais, são as condições inadequadas do ambiente doméstico e as relações intra-familiares problemáticas que se destacam (Paula, 2001). Os fatores ambientais, se por um lado podem trazer mais influências no primeiro ano de vida, após este período serão os fatores sociais que acabam por exercer maior influência negativa sobre o desenvolvimento infantil (Halpern, *et al.*, 2002)

Problemas nutricionais incidindo durante o período crítico, podem alterar o padrão dos eventos celulares, com consequências deletérias para a aquisição de padrões fisiológicos maduros do organismo (Resnick *et al.*, 1979; Noback e Eisenman, 1981; Borba *et al.*, 2000).

A relação entre o estado nutricional precoce e repercussão na vida adulta tem despertado o interesse de pesquisadores há algumas décadas (Davison e Dobbing, 1968; Forsdahl, 1977; Barker *et al*, 2002; Hales e Ozanne, 2003). Inicialmente, foi demonstrado que o tamanho de ratos adultos estava relacionado ao seu estado nutricional durante o período de lactação (Widdowson e McCance, 1960). Em relação aos humanos, evidências epidemiológicas, indicaram que a desnutrição durante os períodos fetal e infância predispõe o indivíduo adulto a doenças como Diabetes mellitus tipo II, hipertensão e hiperlipidemia (Forsdahl, 1977; Barker e Osmund, 1986; Barker *et al.*, 1989; Hales *et al.*, 1991)

Tomando como base essas observações, atribuiu-se esses efeitos a um processo que foi denominado como programação (*Programming*), onde um estímulo ambiental durante o período crítico de desenvolvimento, tem efeito adaptativo sobre estruturas e funções orgânicas (Hales e Barker, 1992; Lucas, 1999; Barker *et al.*, 2002). O fenômeno determinou a formulação da hipótese da influência fenotípica, *Thrifty Phenotype hypothesis*, (Hales, 1992; Barker, 1998), que postula que o organismo se adapta a um *milieu* intra-uterino adverso otimizando a utilização de nutrientes para assegurar sua sobrevivência (Hales e Barker, 1992). Portanto, se houver aumento na disponibilidade de nutrientes após o período crítico, o organismo poderá apresentar alterações metabólicas, atualmente bastante associadas à obesidade e diabetes tipo II (Hales e Barker, 1992).

A hipótese expande a idéia enunciada pelo período crítico do desenvolvimento, propõe uma programação do padrão metabólico do organismo e fornece elementos para entender a origem de determinadas patologias com proporções epidemiológicas (Ozanne e Hales, 1999).

Em animais já foram observadas alterações somáticas, fisiológicas, locomotoras e comportamentais em consequência da desnutrição precoce durante a vida fetal e neonatal (Law, 1996; Barreto-Medeiros *et al*, 2004, Barros *et al*, 2006).

Estudos em humanos realizados na população infantil, observaram que a desnutrição em estágios vulneráveis pode levar às seqüelas neurológicas a longo prazo, atraso no desenvolvimento da linguagem e na motricidade fina (Dobbing, 1970; Grantham-McGregor *et al*, 1987). Tais observações demonstram que, mesmo o organismo lançando mão de estratégias que concentrando o fluxo de nutrientes para órgãos críticos como o cérebro, em detrimento dos tecidos periféricos e músculos, num

mecanismo chamado de isolamento funcional, o mesmo não deixa de ser afetado pela desnutrição (Sawaya *et al.*, 2005).

De um modo geral, os efeitos da desnutrição serão maiores quanto mais precoces, severa e duradoura ocorrer à agressão (Marcondes *et al.*, 1976; Morgane *et al.*, 1993). Nesse particular, alguns estudos demonstram uma correlação significativa entre o baixo peso ao nascer e uma maior susceptibilidade às limitações do potencial de crescimento e desenvolvimento, principalmente quando o recém-nascido permanece em ambiente pouco estimulante até a idade adulta (Santos-Medeiros, 1995; Popkin *et al.*, 1996; Rissin, 2003).

Há ainda alguns autores que relacionam desnutrição à prematuridade, onde o tamanho reduzido do corpo é considerado como fator que influencia o DM, sobretudo na aquisição de motricidade fina, comprometendo tanto a escrita e o desempenho acadêmico, quanto à execução de atividades diárias (Bénéfice, 1990; Platinga *et al.*, 1997; Jongman *et al.*, 1996).

O déficit estatural expressa, na maioria das vezes, a desnutrição de caráter cumulativo, sendo associada ao aumento de risco de morbidade, mortalidade, retardo de DM e capacidade física reduzida (Monteiro, 1996).

Enquanto o déficit estatural se mostra como uma consequência a longo prazo, uma “primeira linha de defesa” da criança desnutrida é a redução da capacidade física. A mesma pode funcionar como estratégia para conservar energia, restringe a exploração do ambiente e leva ao atraso no DM (Ferro-Luzzi, 1987; Spürr e Reina, 1987).

Desse modo, vem aumentando o interesse em avaliar o estado nutricional da população infantil em decorrência dos prejuízos que a desnutrição acarreta ao DM (Guardiola *et al.*, 2001).

Porém, os estudos disponíveis atualmente levam pouco em consideração as interrelações de fatores, e em sua maioria são quase exclusivamente voltados à maturação do SN, deixando de lado o papel exercido pelo sistema muscular na geração de força mecânica, a qual permite o deslocamento segmentar e global do corpo (Thakur, 2004).

O sistema muscular esquelético está constantemente reagindo às mudanças ambientais e pode alterar temporariamente o seu metabolismo em resposta à perturbação de curto prazo ou reorganizar características metabólicas e funcionais para estabelecer adaptações a longo prazo (Noble *et al.*, 2004).

4 SISTEMA MUSCULAR

4.1 Considerações Anatômicas e Fisiológicas

Em homens e mulheres adultos saudáveis, o sistema músculo-esquelético corresponde à metade do peso corporal (Daly, 2004). Este sistema determina a habilidade para locomoção, a qual durante a evolução tem sido de crucial importância para sobrevivência do indivíduo (Rauch, 2001).

A origem precoce da composição do corpo e desenvolvimento músculo-esquelético torna-se aparente na vida embrionária, quando ossos e músculos desenvolvem-se da camada mesodérmica, diferenciando-se em dermatômeros contendo precursores de células ósseas e musculares no primeiro trimestre de vida intra-uterina (Daly, 2004).

Muito cedo na embriogênese se observa a primeira indicação de miogênese, o alongamento dos núcleos e dos corpos celulares das células mesenquimais ao se diferenciarem em mioblastos, e através da sua fusão surgirá os miotubos (Goss, 1978; Zajac, 1989).

A partir de uma população não diferenciada de mioblastos formam-se as células satélites, que permanecem na periferia da célula, sendo importantes para crescimento e regeneração muscular, quando necessário são ativadas, fixando-se às fibras já existentes (Hawke e Garry, 2001). Entre a 6ª e 8ª semanas de gestação, formam-se as fibras musculares primárias, e as secundárias formam-se entre a 8ª e 18ª semanas, porém o processo de diferenciação, ocorrerá no final da gestação e no período neonatal (Goss, 1978).

Morfologicamente, os músculos esqueléticos são constituídos pelas fibras, formada por unidades funcionais menores as miofibrilas, são envolvidas uma a uma por tecido conjuntivo fibroso, o endomísio, em sequência, estas são agrupadas em feixes de até 150 fibras formando um fascículo, o qual está envolto pelo perimísio, sendo que vários fascículos juntos envolvidos pelo epimísio formam o músculo como um todo (Hawke e Garry, 2001; Seale e Rudnicki, 2000).

Histologicamente as fibras musculares são envolvidas pela membrana plasmática -o sarcolema- formada por dupla camada lipídica. Abaixo do sarcolema

existe a membrana basal formada por proteínas e filamentos de colágeno (Flück e Hoppeler, 2003)(Figura 2)

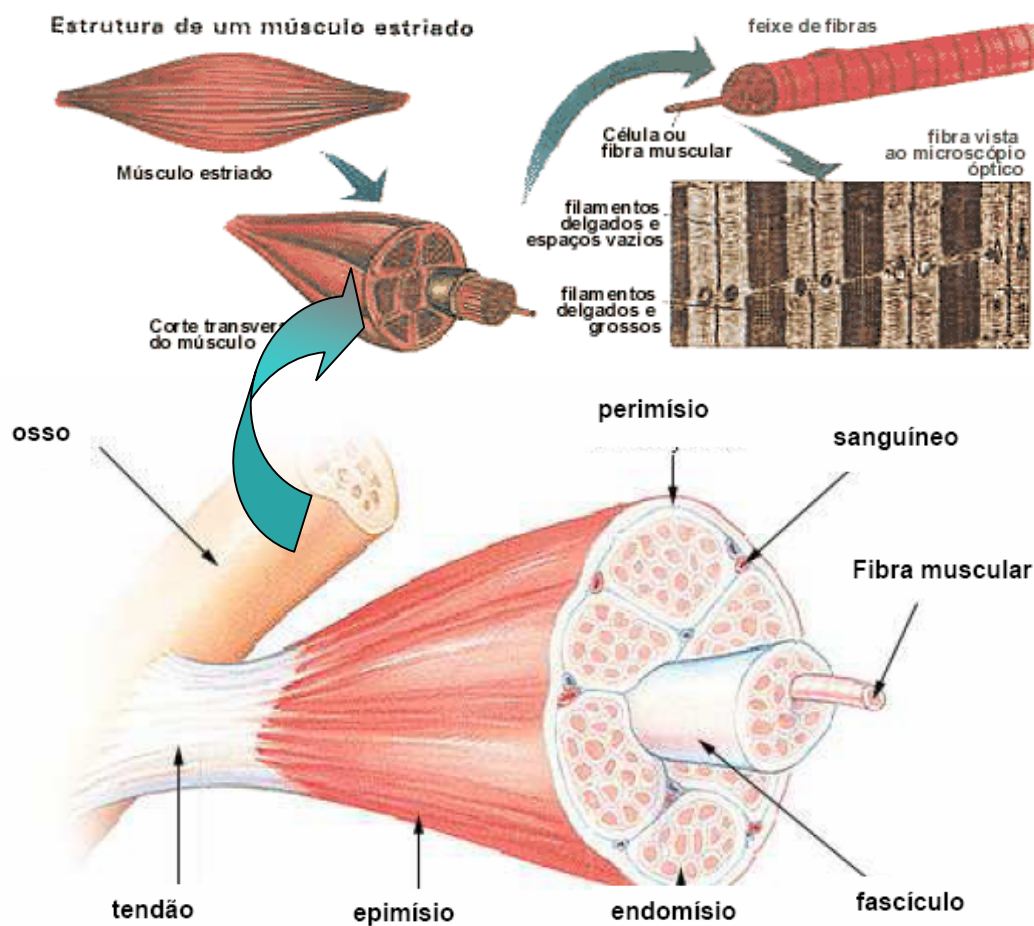


Figura 2 Representação da estrutura do músculo esquelético

Fonte: [http://training.seer.cancer.gov/module anatomy/unit 2 muscle structure](http://training.seer.cancer.gov/module%20anatomy/unit%20muscle%20structure) (acessado em 20/12/2007).

Estruturalmente, as fibras musculares esqueléticas são constituídas pelos sarcômeros, unidades iguais e repetidas delimitadas pela linha Z, dentro dos quais localizam-se os filamentos protéicos finos e grossos denominado complexo protéico do sarcômero, os quais além de permitir a contração, estão relacionados à organização e coesão da fibra (Schiaffino e Reggiani, 1996).

Esses filamentos protéicos conferem o aspecto estriado ao músculo esquelético, exercem funções diferenciadas e formam a unidade funcional da fibra o sarcômero (Kenny-Mobbs, 1985). Os filamentos finos são formados por actina, tropomiosina, troponina e tropomodulina, enquanto os grossos são representados pela miosina e as proteínas C, H, M e miomesina, tornando o músculo a principal reserva de proteína do corpo (Malina e Bouchard, 2001; Schiaffino e Reggiani, 1996; Rauch, 2001).

Através da adição de sarcômeros ocorre o crescimento longitudinal do músculo, geralmente nas extremidades das fibras musculares, sendo o aumento no diâmetro muscular uma consequência da adição de novas miofibrilas (Goss, 1978).

Quanto à classificação dos tipos de fibras musculares, dependem de critério histoquímico, contrátil ou metabólico ou da combinação de critérios para classificá-las (Malina e Bouchard, 1991; Botinelli e Reggiani, 2000). As fibras são heterogêneas no tamanho, metabolismo e função contrátil, o que permite uma grande variedade de funções de acordo com a composição das mesmas e alterações durante o processo de crescimento e desenvolvimento (Botinelli e Reggiani, 2000 Scott *et al.*, 2001).

Nesse estudo será considerada a classificação tipo I (contração lenta) e tipo II (contração rápida).

Comportamento das fibras musculares

As características fisiológicas de nervos e músculos mudam com a idade (Erim *et al.*, 1999). Os músculos crescem e tornam-se fortes até a idade adulta (Malina e Bouchard, 2001).

Nos estágios precoces do DM, a estrutura muscular é composta principalmente de fibras musculares de contração lenta, as quais permitem que a criança execute movimentos rudimentares e imperfeitos (Pisöt *et al.*, 2000).

As fibras do tipo I e II aumentam gradualmente em número durante o primeiro ano de vida pós-natal e seu diâmetro e tamanho aumenta rapidamente com a idade (Saints-Engelsmann, *et al.*, 2003). Durante o desenvolvimento, a proporção das fibras rápidas aumenta significativamente de 35% aos 5 anos para 50% aos 20 anos de idade, permitindo aquisição de habilidades necessárias para realização tarefas mais elaboradas (Lewell e Downham, 1992; Vogler *et al.*, 1985).

A área de secção transversa do músculo duplica entre 5 a 20 anos de idade, em virtude do aumento do diâmetro e densidade da fibra, acompanhada por desenvolvimento funcional da população de fibras (Smits-Engelsman, *et al.*, 2003).

O aumento no diâmetro está aparentemente relacionado à função ou intensidade de carga a qual o músculo é submetido durante o crescimento, de modo geral, enquanto a fibra está se alargando, também está crescendo em comprimento. (Goss, 1978; Pisôt *et al.*, 2000).

Quanto à proporção da massa muscular no corpo como um todo, estima-se, através de estudos de dissecação, que corresponda entre 23% e 25% do peso corporal ao nascimento, e em torno de 40% na vida adulta (Malina e Bouchard, 2001). Os músculos das extremidades inferiores correspondem a aproximadamente a 40% do peso total ao nascimento e a 55% na idade adulta (Malina e Bouchard, 2001; Pisôt *et al.*, 2000).

O desenvolvimento do tipo de fibra pode ser fortemente influenciado pelo gênero, função do músculo, atividade física entre outros fatores, de modo que durante a maturação pós-natal do músculo, o momento das mudanças fenotípicas vai depender do músculo analisado (Elder e Kakulas, 1993).

Além disso, as fibras musculares têm capacidade de alterar suas propriedades fisiológicas e bioquímicas de acordo com os estímulos a que são submetidas, com o resultado refletindo na quantidade ou tipo das proteínas musculare. Esta capacidade adaptativa envolvendo diferentes componentes da fibra denomina-se plasticidade muscular (Pette, 1998; Pillegaard *et al.*, 2000; Baldwin e Haddad, 2001; Anderson, 2006).

4.2 Propriedades Mecânicas Musculares

O Músculo esquelético tem como unidade estrutural a fibra muscular e como unidade funcional a unidade motora (Malina e Bouchard, 2001).

A unidade motora (UM) é definida como axônio do motoneurônio e todas as fibras por ele inervadas (Bertram e Marsh, 1998). A função básica da UM é de transformar a sinapse recebida pelo motoneurônio em resposta mecânica para o músculo (Nordin e Frenkel, 1980; Heckman e Enoka, 2003). Desse modo, a menor contração natural do músculo, corresponde à ativação de uma única UM, embora uma fibra

muscular seja inervada por um único motoneurônio, cada motoneurônio inerva mais de uma fibra muscular (Nordin e Frenkel, 1980).

A composição do músculo em tipos de UM depende das características funcionais do músculo: os que têm predominância de fibras lentas exercem função estática na manutenção de postura, enquanto os ricos em fibras rápidas participam de movimentos dinâmicos (Edgerton *et al.*, 1975).

A força produzida pelo músculo durante uma contração voluntária depende do número de UMs recrutadas e da frequência com que essas unidades disparam potenciais de ação (Thomas *et al.*, 1991; Macelfield *et al.*, 1996).

O controle das ações do músculo esquelético no meio ambiente ocorre através das suas propriedades comportamentais: extensibilidade (capacidade de ser estirado); elasticidade (alongar e encurtar); irritabilidade (responder a estímulos) e capacidade de desenvolver tensão (Zajack, 1989).

A mudança no entendimento da função muscular ganhou um grande impulso no século passado com as análises pioneiras de A. V. Hill através das quais foram definidas as propriedades contráteis a nível de três componentes (Hill, 1938, 1970). O modelo proposto os três componentes caracterizados como componente contrátil (CC), componentes elástico em série (CES) e componente elástico em paralelo (CEP) numa representação macroscópica do complexo músculo-tendão figura 3 (Shorten, 1987).

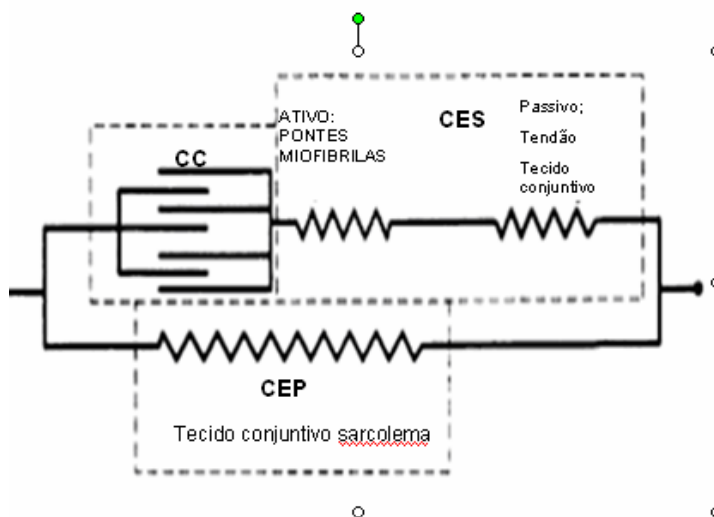


Figura 3: Modelo muscular a três componentes (segundo Shorten, 1987)

Assim o modelo traduz uma representação esquemática definindo anatomicamente cada componente funcional, bem como esclarece as funções dos tendões e tecidos conectivos ao redor do músculo, estruturas viscoelásticas que ajudam a determinar as características mecânicas do músculo (Nordin e Frankel, 1980).

As características pertinentes a cada componentes deste modelo serão descritas a seguir.

Componente Contrátil (CC)

Localiza-se a nível das pontes de actino-miosina e exerce a função de gerador de força, convertendo energia química em mecânica (Fox *et al.*, 1993).

A força ou tensão que o músculo exerce varia com o comprimento no qual ele se encontra quando é estimulado (Nordin e Frankel, 1980). Sempre que ativados os músculos desenvolvem tensão e tendem a se encurtar, o tipo de resistência exterior determinará a existência ou não de movimento, classicamente existem três tipos de ações musculares: concêntrica, excêntrica e isométrica (Komi, 1988).

Ação concêntrica ocorre quando a tensão desenvolvida pelo músculo é superior à resistência que ele tem de vencer, ocorrendo mudança no comprimento (Edman, 1996). Quanto à ação excêntrica a tensão desenvolvida pelo músculo é inferior à resistência a ser vencida, apesar do músculo tentar encurtar-se ocorre alongamento das fibras musculares (Edman, 1996).

A ação é denominada isométrica se a tensão desenvolvida pelo músculo é igual a resistência que ele tem de vencer; dessa forma o comprimento das fibras musculares mantém-se essencialmente inalterado (Komi, 1988; Wilson *et al.*, 1996).

A força desenvolvida pelo músculo é maior no chamado comprimento ótimo de repouso, já que as pontes cruzadas entre actina e miosina são mais numerosas nesta posição; à medida que o músculo se encurta ocorre diminuição das ligações entre as proteínas contráteis porque ocorre sobreposição dos filamentos com uma diminuição da tensão que pode ser desenvolvida (Komi, 1988). Também durante o comprimento normal de repouso que ocorre a força máxima de contração, o músculo esquelético contrai-se com rapidez quando não precisa vencer qualquer carga, se houver carga a velocidade de contração torna-se progressivamente menor à medida que a carga aumenta (Wilson *et al.*, 1996).

Quando as fibras musculares se contraem contra uma carga, algumas estruturas alongam-se ligeiramente quando a tensão aumenta, sendo denominados de componentes elásticos em série do músculo (Edman, 1996).

Componente Elástico em Série (CES)

Embora os componentes elásticos que formam o CES sejam mostrados fora do CC, uma porção deles reside dentro deste componente: trata-se da porção ativa, representada pelas pontes cruzadas de actinmiosina e a parte passiva constituída pelas estruturas tendinosas do músculo (Nordin e Frankel, 1980). Uma contribuição do modelo molecular baseada nos estudos de Huxley e Simmons (1971) permitiu progressivamente a identificação de duas funções separadas ao nível do CES.

Os CES são estruturas responsáveis por acumular energia elástica, atuando como uma fonte passiva de geração de força (Edgerton *et al.*, 1986; Faro, 1995; Huijing, 1992).

Alguns autores consideram os tendões as estruturas mais importantes para quantificar o acúmulo de energia, estando intrinsecamente relacionado com o *stiffness* da estrutura tendinosa (Winter, 1979; Ettema e Huijing, 1989; Hoy *et al.*, 1990; Pousson, Van Hoeckel e Goubel, 1990; Huijing, 1992; Caldwell, 1995). *Stiffness*, foi primeiramente definido como sendo a resistência oposta, pelo complexo músculo-tendão, à deformação devido a um alongamento rápido (Gans, 1982).

A fim de se compreender sobre a função das propriedades elásticas em série foi necessário o desenvolvimento de métodos, entre os quais o *Quick release*, que será utilizado neste estudo. Nesse método o encurtamento muscular deve ser completado antes que os primeiros reflexos cheguem aos músculos antagonistas e a velocidade deve estar bem abaixo da velocidade máxima do músculo (Zee e Voight, 2001).

Componentes Elástico em Paralelo (CEP)

A localização estrutural do CEP abrange: sarcolema, envoltórios de tecido conjuntivo, pontes residuais de actina e miosina e proteínas de conexão. Funciona opondo resistência ao movimento quando ocorre alongamento muscular (Huijing, 1992).

Tanto o CES quanto o CEP possuem propriedade viscosa, a qual torna possível o estiramento e o recuo do músculo seguindo um padrão que depende do tempo (McHugh *et al.*, 1992).

De modo geral quando um estímulo estático de um grupo muscular é mantido por certo período de tempo, o músculo sofre um alongamento progressivo, aumentando a amplitude de movimento das articulações (McCall *et al.*, 1992).

De maneira semelhante, depois que um grupo muscular foi estirado, não recua imediatamente para seu comprimento de repouso, mas, sofre uma deformação durante certo período de tempo (McCall *et al.*, 1996).

4.3 Plasticidade das Fibras Musculares

São vários os estímulos que atuam sobre o músculo esquelético promovendo alterações fisiológicas e moleculares, dentre os quais: atividade neuromuscular, a demanda funcional e a influência hormonal (Pette e Staron, 1997; Baldwin e Hadad, 2001).

Além disso, a plasticidade atua na adaptação à variedade do estímulo externo, incluindo nível habitual de atividade contrátil, estado de carga, oferta de substratos e condições do meio ambiente (Pette e Staron, 2000). As alterações ocorrem a partir da reorganização de eventos celulares relacionados a fatores metabólicos e contráteis, envolvendo respostas da fibra e estruturas associadas (Flück e Hoppeler, 2003; Pette e Staron, 2000; Kim *et al.*, 2005).

Dentre as várias respostas decorrentes de estímulos aplicados sobre o músculo, temos a transição das fibras, assim, um músculo pode tornar-se mais rápido ou mais lento conforme o estímulo que está sendo submetido (Staron, 1991; Anderson, 2006).

Plasticidade e demanda funcional

A atividade neuromuscular é capaz de alterar o fenótipo muscular. A ausência de atividade nervosa irá determinar mudança na fibra muscular, onde os efeitos mais evidentes promovem a transição das fibras tipo I para tipo II (Staron, 1991). No mesmo sentido também já foi relatado que músculos de indivíduos com lesão medular podem sofrer transformação de fibras lentas para rápidas (Lieber, 2002).

Sendo o músculo um dos mais mutáveis tecidos biológicos observa-se respostas às demandas normais ou alteradas com adaptações morfológicas e funcionais (Gomes *et al.*, 2004). Desta forma alguns autores verificaram o comportamento das propriedades mecânicas do ME diante determinadas situações, como a hipoatividade.

Nesse sentido, experimentalmente em modelos animais utilizando o método de suspensão de membro proposto por Morey (1979), permitindo a estimulação de uma carga mecânica e atividade motora do sistema muscular.

No mesmo sentido, foram observadas mudanças semelhantes na composição de fibras no músculo solear de ratos, após três semanas de exposição à microgravidade simulada (Canon e Goubel, 1995).

Em outro estudo Canon *et al.*, (1998), observaram os efeitos da eletroestimulação de baixa frequência sobre as propriedades contráteis e elásticas do sóleo de ratos submetidos à suspensão, constatando recuperação parcial da massa muscular e da tensão, contribuindo para prevenção de atrofia.

Ainda com relação à suspensão, Almeida- Silveira *et al* (2000), observaram em ratos mudanças sobre as propriedades mecânicas do tendão de Aquiles.

Esses dados podem ser confirmados por estudos onde o músculo sóleo, predominantemente lento, quando imobilizado em posição de encurtamento ou exposto à condição de hipogravidade, apresentou características de músculo rápido (Delp e Duan, 1996; Loughna *et al.*, 1990; Staron *et al.*, 1998).

Em relação à hiperatividade, alguns estudos têm mostrado que a mesma induz mudanças na relação força-velocidade, modificando a isoforma da miosina (Allaf e Goubel, 1999).

De maneira contrária, o músculo tibial anterior, predominantemente rápido, apresentou expressão de miosina lenta após eletroestimulação e alongamento (Goldspink *et al.*, 1992; Delp e Duan, 1996). Essas observações demonstram que músculos submetidos ao desuso tendem a apresentar maior número de fibras rápidas (Pette e Staron, 1997; Lieber, 2002).

Embora, a maioria dos estudos tenha sido feita em modelos animais, observa-se em humanos, perda de massa e força muscular tem sido relatada depois de vôo espacial e repouso prolongado no leito (Dudley *et al.*, 1992; Lambertz *et al.*, 2001).

Plasticidade e hormônios

No que se refere aos hormônios presentes no organismo, a testosterona, hormônio tireoidiano, hormônio do crescimento (GH) e insulina são os que mais promovem adaptações nas fibras musculares (Flück e Hoppeler, 2003; Pette e Staron, 2000).

Os hormônios da tireóide (triiodotireonina e tiroxina) têm grande influência sobre alterações no fenótipo das fibras, uma vez que a diminuição destes hormônios leva às mudanças de fibras rápidas para lentas, ocorrendo o contrário quando os níveis estão aumentados (Pette, 2001; Kadi *et al.*, 1999). Esses dados também foram confirmados experimentalmente quando ratos foram submetidos a tratamento com triiodotireonina e foi observado aumento de fibras rápidas (Caiozzzo *et al.*, 1998).

Quanto à insulina, as alterações foram observadas em indivíduos com diabetes tipo II (Nyholm *et al.*, 1997; Venojarvi *et al.*, 2005; Oberbach *et al.*, 2006). De acordo com esses autores a diminuição nas fibras lentas e aumento nas fibras rápidas, além de aumento nas enzimas glicolíticas, sugerindo que ocorre um mecanismo compensatório na captação de glicose pelo músculo em virtude da alteração no metabolismo da glicose.

Em relação à ação do hormônio do crescimento (GH) é referida por alguns autores no sentido que o mesmo induz um aumento da concentração e do tamanho das fibras rápidas, da capilarização e da força muscular (Fluck e Hoppeler, 2003).

Plasticidade muscular diante da desnutrição

Muitos pesquisadores têm investigado mudanças na distribuição de fibras musculares durante o crescimento pós-natal na maioria das espécies de mamíferos (Curless & Nilson, 1976; Kugelberg, 1976). Tem sido sugerido que alguns fatores podem ser correlacionados com diferenciação de fibras nas primeiras semanas do crescimento pós-natal, incluindo inervação (Rubinstein & Kelly, 1978; Vrbova *et al.*, 1985).

Alguns trabalhos sobre a histoquímica e a morfologia das fibras musculares têm avaliado os impactos da desnutrição durante a gestação e o período de aleitamento, tendo sido demonstrado redução da área de secção transversa (Haltia *et al.*, 1978; Bedi *et al.*, 1982; Howells *et al.*, 1978; Cavaliere *et al.*, 1996;).

Os danos na estrutura muscular podem levar à diminuição do seu peso (Bedi *et al.*, 1982; Barros *et al.*, 2004; Toscano *et al.*, 2008), além de alterações nas proporções relativas aos tipos de fibras musculares (Bedi *et al.*, 1982; Boreham *et al.*, 1988).

Nesse particular foi observado atraso na diferenciação do tipo de fibra muscular, predominante sobre as fibras rápidas (Haltia *et al.*, 1978; Cavaliere *et al.*, 1996). Corroborando com esses achados um estudo realizado induzindo a desnutrição no período gestacional, constatou atrofia seletiva nas fibras rápidas em relação às lentas (Oliveira, 1999).

Alguns autores têm proposto que pelo fato das fibras lentas se originarem de miotubos primários, seriam resistentes às influências ambientais, e sendo uma grande proporção das fibras rápidas provenientes dos miotubos secundários, apresentariam maior susceptibilidade aos agravos nutricionais (Dastur *et al.*, 1979; Goodman *et al.*, 1981; Ward e Stickland, 1991).

5 REPERCUSSÕES DA DESNUTRIÇÃO SOBRE O SISTEMA LOCOMOTOR

Como foi relatado anteriormente, diversos sistemas orgânicos podem ser afetados em consequência da desnutrição precoce. Relativamente pouco se conhece sobre as repercussões deste tipo de agressão ao sistema muscular em desenvolvimento. A literatura demonstra que alguns parâmetros biomecânicos no músculo esquelético em animais, bem como os efeitos sobre o desenvolvimento neuropsicomotor, podem sofrer repercussões negativas da desnutrição. Alguns destes estudos serão descritos a seguir.

5.1 Efeitos da Desnutrição sobre a Biomecânica Muscular

Em seres humanos, a maior parte dos eventos que definem as propriedades funcionais do músculo esquelético ocorre até o final do período pré-natal (Schamalbruch, 1985).

Na infância, o crescimento físico conduz a um aumento na performance física, que está relacionado a modificações estruturais e funcionais dos músculos (Blimkie, 1989). Do ponto de vista biomecânico, a força muscular evolui ao longo do crescimento pré-puberal (Seger & Thorstensson 1994) acompanhando modificações antropométricas ou a variação do tamanho dos músculos, que favorecerão o desenvolvimento. Na criança, o tamanho reduzido do corpo pode também levar a mudanças no desempenho de aspectos biomecânicos por modificar braços e momentos de alavanca e como consequência afetar o desempenho motor (Lackmann e Thelen, 1993).

As mudanças que ocorrem durante esta fase no sistema músculo-esquelético, também têm levado a um maior interesse sobre estudos a respeito do desempenho de força muscular e identificação de propriedades biomecânicas musculares em crianças (Cornu e Goubel, 2001; Grosset *et al.*, 2004).

A desnutrição mesmo imposta por períodos curtos a ratos adultos provocou alteração sobre as características de tensão, relaxamento e fadiga muscular (Bissonette *et al.*, 1997). Estudos experimentais recentes demonstraram que a desnutrição precoce pode afetar as propriedades contráteis e elásticas do músculo. Parâmetros biomecânicos mostraram-se alterados em ratos desnutridos no período pós-natal, com alterações das características do CES, aumento dos tempos de contração e meio relaxamento muscular, além de diminuição de força (Barros *et al.*, 2004). Idutida na fase gestacional, a desnutrição levou igualmente a prejuízos sobre a força muscular e alteração nas características do CES, com efeitos a longo prazo, até a vida adulta (Toscano *et al.*, 2008).

No cenário internacional, alguns centros têm já buscado seguir esta linha, com trabalhos voltados à identificação de propriedades mecânicas musculares em crianças (Cornu e Goubel, 2001; Grosset *et al.*, 2004).

Tal sujeito de estudo, voltado para a população infantil da região Nordeste, notadamente atingida por erros alimentares e desnutrição (Lima & Osório, 2003), pode fornecer subsídios tanto para avaliação de saúde quanto para comparação na avaliação de resultados de intervenções em políticas de saúde e recuperação nutricional.

5.2 Efeitos da Desnutrição sobre o Desempenho das Habilidades Motoras

Alguns efeitos da desnutrição sobre o comportamento locomotor têm sido experimentalmente demonstrados em modelos animais. Relata-se alterações no desenvolvimento de funções motoras em ratos submetidos à desnutrição pré ou pós-natal, com retardo na ontogenia dos reflexos (Smart & Dobbing, 1975; Barros *et al.*, 2006) e evolução de padrões locomotores (Lynch *et al.*, 1978; Nagy *et al.*, 1977; Gramsberg & Westerega, 1992; Barros *et al.*, 2006).

Histórias de desnutrição precoce podem estar relacionadas ao atraso no desenvolvimento psíquico e motor em crianças, sendo exemplos representativos dessa afirmação os relatos de Ivanovic *et al.* (1996) e Bénéfice *et al.* (1999), que correlacionaram baixos escores escolares e redução de coordenação motora em crianças desnutridas, respectivamente.

Num estudo comparativo entre pré-escolares do Senegal com e sem história de desnutrição, foi observado que a desnutrição precoce tem efeito negativo sobre o

desempenho motor e coordenação, levando os autores a concluir que o meio ambiente e nutrição podem ter efeitos separados, mas atuam juntos atrasando o crescimento e o desenvolvimento motor (Bénéfice, Fouère e Malina, 1996).

Também em crianças Senegalesas da zona rural, com idade entre 3 e 5 anos, foi realizado um estudo com objetivo de verificar a relação entre o estado nutricional e o desempenho motor. Essas crianças foram acompanhadas durante 1 ano através de testes de atividades físicas e de habilidades motoras, levando os autores a concluir que o grau de desnutrição pode afetar a habilidade no desempenho de trabalho físico além de comprometer o aprendizado (Bénéfice, 1999).

Todavia, em estudo semelhante realizado em crianças Filipinas os autores constataram diferenças significativas quanto aos desempenhos perceptivo e motor entre crianças desnutridas crônicas, porém não houve evidência quanto ao desempenho cognitivo (Reyes *et al.*, 1990).

Ainda com relação ao DM, foi realizado estudo em crianças brasileiras eutróficas e com alto risco de desnutrição, entre 1 e 6 anos de idade, residentes na periferia de Porto Alegre, revelou que embora os dois tenham apresentado atraso no DM devido às condições ambientais, o atraso foi maior no grupo de risco (Saccani *et al.*, 2007).

Estudo anterior realizado por Guardioli *et al.*, 2001 entre escolares de instituições públicas e privadas relacionando o desenvolvimento neuropsicomotor com o estado nutricional, também observaram maior alteração no grupo nutricionalmente mais comprometido.

Há também os relatos que apontam para as dificuldades motoras relacionadas à prematuridade, indicando falhas na coordenação motora fina; os autores ressaltam que essa alteração pode levar à dificuldade no manejo de objetos que exijam maior destreza manual, comprometendo tanto a escrita e o desempenho acadêmico quanto à execução de atividades diárias (Jongmans *et al.*, 1996; Platinga, Perdock e Groot, 1997).

Essa visão é compartilhada por outros autores, os quais observaram que crianças pré-termo predominam nas famílias de baixa renda, ou seja, além dos problemas específicos da prematuridade, existe a exposição a ambientes empobrecidos e a condições como a desnutrição influenciando o desenvolvimento infantil (Ross *et al.*, 1991). Nesse sentido foi realizado estudo comparativo sobre o desempenho perceptual e motor entre escolares de família de baixa renda nascidos pré-termo e a termo, onde foi

observado que a prematuridade contribuiu para que as crianças obtivessem escores significativamente inferior em todos os testes (Magalhães *et al.*, 2003).

Crianças que possuem carências de estímulos corporais e ambientais poderão apresentar dificuldades no decorrer de outros estágios de desenvolvimento, sob o risco de chegar ao período escolar com déficits acumulados em relação às habilidades mínimas necessárias para que possam adquirir novos comportamentos que lhe serão exigidos (Lampreia, 1985).

Dessa forma a associação entre desempenho de aquisição motora e nível de comprometimento nutricional reforça o fato que a desnutrição precoce é um fator de risco para o desenvolvimento motor.

HIPÓTESES

❖ Crianças pré-adolescentes que sofreram precocemente condições de risco nutricional apresentam suas propriedades biomecânicas musculares afetadas quando problemas de saúde e nutrição ocorrem precocemente.

❖ Crianças pré-adolescentes que sofreram precocemente fatores de risco nutricionais apresentam comprometimento no desempenho das habilidades motoras.

OBJETIVOS

GERAL

Avaliar as propriedades biomecânicas de músculos esqueléticos e o desempenho das habilidades motoras em escolares com diferente classificação nutricional.

ESPECÍFICOS

- ◆ Avaliar em pré-adolescentes classificados como risco nutricional e eutróficos em região do Nordeste do Brasil:
 - A adaptação de um método de avaliação das propriedades contráteis e elásticas do músculo esquelético.
 - As propriedades mecânicas dos músculos flexores plantares .
 - O desempenho das habilidades motoras.
- ◆ Investigar a influência exercida pelo estado nutricional sobre os parâmetros acima.

MÉTODOS

3 MÉTODOS

A seguir serão apresentados os procedimentos metodológicos que orientaram o presente estudo. Estão descritos: (1) caracterização do universo da pesquisa, (2) caracterização da pesquisa, (3) participantes do estudo, (4) instrumentos e procedimentos de coleta de dados, (6) análise de dados, (7) tratamento estatístico dos resultados. (8) limitações do estudo.

3.1 Caracterização do Universo da Pesquisa

O município de Gameleira localiza-se na Zona da Mata Meridional do Estado de Pernambuco. Possui clima ameno, topografia variada e solo de composição sílico-argiloso, com área geográfica de 257,72 km. Sua população é de 24.003 habitantes, sendo 16.603 na zona urbana e 7.340 zona rural. A base da economia é a monocultura açucareira, a qual também contribui para alta taxa de desemprego coincidente com a entressafra da cana-de-açúcar, responsável pelas precárias condições socioeconômicas da maioria da população.

A escolha do Município deveu-se ao fato do Departamento de Nutrição desde 2003 participar de um projeto com linha de pesquisa que envolve a caracterização da população infantil residente da Zona da Mata Meridional de Pernambuco.

3.2 Caracterização da Pesquisa

O presente estudo é do tipo descritivo de corte transversal, pois visa investigar a relação entre o estado nutricional e os desempenhos biomecânico e motor em escolares

3.3 Participantes do Estudo

A população-alvo foi delimitada como todas as crianças na faixa etária de 8-9 anos de idade, de ambos os sexos, matriculadas nas escolas municipais desta localidade. A faixa etária foi escolhida com base em resultados obtidos anteriormente através de um estudo piloto para validação de um dos instrumentos de avaliação, o Ergômetro de Tornozelo, realizado na cidade do Recife.

Para viabilizar o estudo e atender aos objetivos propostos tornou-se necessário analisar o peso, altura e estado nutricional de todas as crianças na faixa etária pretendida, regularmente matriculada na rede municipal de ensino totalizando 101

crianças. Em relação à localização das escolas, a maioria dos alunos encontrou-se matriculada nas escolas da zona urbana, refletindo o que acontece de forma geral com a população do município.

Para participar da avaliação biomecânica, foram escolhidas intencionalmente 42 crianças (71,12% de meninos e 28,58% de meninas), com faixa etária de 9 ± 2 meses das escolas de zonas urbana (74%) na zona rural (26%) rural, as quais foram avaliadas através do Ergômetro de Tornozelo. Cinco crianças foram excluída da amostra por terem demonstrado apreensão durante o teste.

Para avaliação das habilidades motoras, foram selecionadas 47 crianças (68,1% meninos e 31,9% meninas) com faixa etária de 9 ± 6 meses, provenientes de escolas das zonas urbana (76,59%) e rural (23,41%), através da Escala de Desenvolvimento Motor-EDM (Rosa-Neto, 2002).

Os critérios para escolha da amostra foram a localização da escola; a concordância da direção das escolas, da Secretaria de Saúde do Município e dos pais dos alunos na participação do estudo; o espaço físico para aplicação dos testes, sendo os testes biomecânicos aplicados na Secretaria de Saúde e os testes de habilidades motoras no ambiente escolar.

Para cumprir estes requisitos, participaram desta fase de estudo os agentes comunitários de saúde (ACS) do município, os quais foram disponibilizados pela Secretaria de Saúde e que, segundo sua área de atuação, localizavam as escolas e/ou domicílios que continham a população pretendida. Uma vez localizada a clientela, era agendado o horário da avaliação. As crianças compareciam ao local acompanhadas pelos seus responsáveis e/ou pelos ACS.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Dados antropométricos

Para avaliação do crescimento físico, as crianças foram classificadas de acordo com a relação altura/idade (A/I) e peso/idade (P/I), onde se utilizou como padrão de referência as tabelas da WHO (2007). O estado nutricional foi calculado usando-se os dados antropométricos adequados para idade cronológica, considerando o escore Z com

± 2 Desvios-Padrão (DP). Além disso foram também mensuradas a altura sentada e o perímetro da panturrilha. Para participar da pesquisa foram selecionadas crianças com estado nutricional de classificação eutrófica ou com indicadores de desnutrição pregressa, às quais foram designadas como Grupo Eutrófico (E) e Grupo de Risco (R), respectivamente. Constituíram-se como critérios de exclusão os participantes que apresentaram classificação de desnutrição atual ou sobrepeso, assim como a presença de alterações neurológicas, ortopédicas e/ou distúrbios sensoriais (visuais ou auditivos) evidentes na avaliação.

Procedimentos de Coleta

De forma geral, os procedimentos utilizados para coleta de dados dividem-se em três grandes áreas: dados antropométricos/estado nutricional, avaliação biomecânica e avaliação de habilidades motoras.

Dados antropométricos/estado nutricional

a)Peso

Equipamento: Balança digital (Plena[®]), com intervalo na escala de 100gramas.

Procedimento: Estando a criança descalça e com o mínimo de roupas, colcava-se em pé sobre a plataforma da balança, com os braços ao longo do corpo e imóvel. O peso foi registrado em quilos (Kg) e gramas (g).

b) Altura

Equipamento: Estadiômetro portátil (Altuxata[®]) com régua móvel e intervalo em milímetros (mm).

Procedimento: sem calçados, a criança foi posicionada de pé sobre a plataforma do estadiômetro, com calcanhares unidos e extremidades dos pés afastadas; as regiões glútea, escapular e occipital se apoiavam contra a régua. Deslizava-se a régua até o cursor tocar na parte superior da cabeça, sem empurrá-lo. Então, fixava-se a régua para a leitura da medida encontrada.

c) Perimetria da panturrilha

Equipamento: fita métrica metálica com intervalo em centímetros (cm).

Procedimento: A criança se mantinha em pé com o corpo ereto e a região correspondente ao maior volume da panturrilha era mensurada.

3.4.2 Avaliação Biomecânica

A avaliação biomecânica foi feita através de um equipamento denominado Ergômetro de Tornozelo. O suporte técnico para elaboração e construção do ergômetro foi dado pela Bio2M® - França, a partir de um modelo já usado em indivíduos adultos, instalado no Laboratório UMR CNRS 6600 da UTC.

Trata-se de um aparelho composto por uma cadeira de assento ajustável às características antropométricas do indivíduo a ser avaliado e um pedal com ajuste rotacional (Figuras 4 e 5).

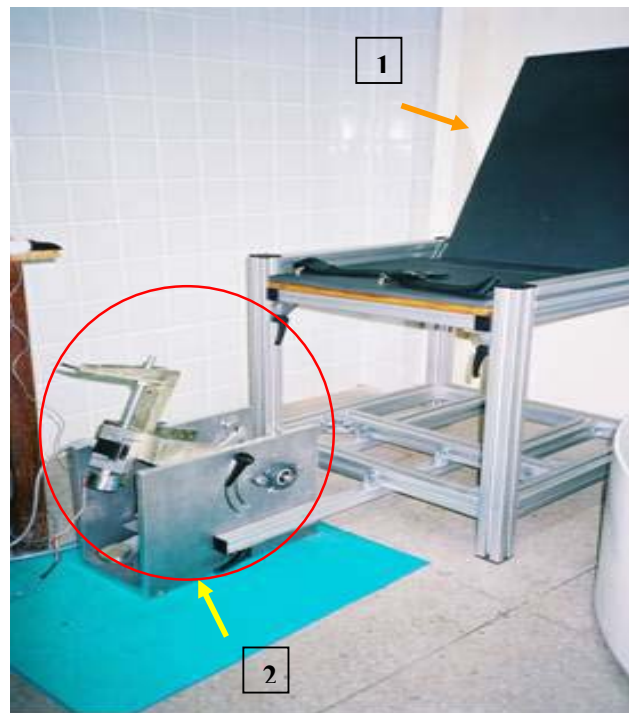


Figura 4 Ergômetro de tornozelo transportável.

1 - assento

2 - pedal

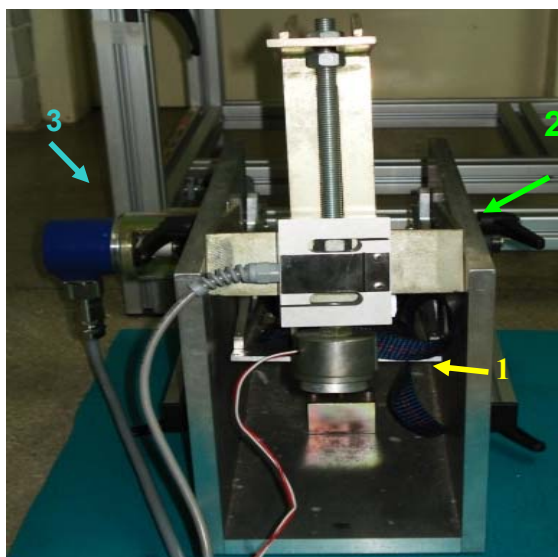


Figura 5 Vista frontal do pedal

1- ventosa eletromagnética; 2-eixo de rotação; 3-sensor de deslocamento

O ergômetro proporciona a mensuração da força isométrica durante a flexão plantar em condição estática e das propriedades elásticas da unidade músculo-tendão. Tal força é medida através célula de carga com capacidade de registro até 500Newtons(N), conectada a uma ventosa eletromagnética com capacidade de força máxima ($F_{m\acute{a}x}$) de 790N. A capacidade de força da célula garante o estado isométrico dos músculos. Um Captor de Deslocamento calcula a aceleração a partir do deslocamento.

A unidade diretora do ergômetro (Figura 6) é conectada ao computador portátil equipado com um software específico para interpretação e registro dos dados. Além disso, o ergômetro se conecta a outros instrumentos: osciloscópio, eletromiógrafo e eletroestimulador (Figuras7, 8 e 9).

O osciloscópio proporciona um retorno visual do sinal obtido durante a contração voluntária ou involuntária, favorecendo maior interatividade para os avaliadores e a criança durante o processo de avaliação.

O Eletromiógrafo permite a captação da atividade elétrica muscular, fornecendo registro numa frequência de 4Hz para análise posterior.

O Eletroestimulador por Fonte de Corrente Contínua (FCC) permite verificar a integridade neuro-muscular através da geração do estímulo elétrico em mA (miliampere).



Figura 9 Eletroestimulador

Procedimentos de coleta

Equipamento: Protocolo de avaliação; Ergômetro de Tornozelo transportável (Bio2M[®]); computador portátil (Toshiba[®]); Osciloscópio Digital (Minipa[®] MO-11500D- 150MHz); Eletroestimulador (Fonte de Corrente Contínua, elaborado e construído, conforme especificações fornecidas pela UTC, no Laboratório de Eletro-Eletrônica do Departamento de Física, da Universidade Federal de Pernambuco); Eletromiógrafo (EMG System do Brasil[®]); eletrodos de superfície adesivos descartáveis (3M[®]), gaze (Cremer[®]); fita adesiva (Scotch[®]); álcool, esponja para esfoliação, esparadrapo tipo micropore (Cremer[®]); goniômetro (CARCI[®]); gel para interface entre pele e eletrodos (CARBOGEL[®]) e amperímetro digital (Multimeter[®]).

Procedimentos:

Os dados antropométricos necessários para a avaliação biomecânica de cada criança foram registrados para proporcionar os ajustes no assento e pedal antes da avaliação. Com a criança em pé mantendo-se ereta, foram mensuradas com fita métrica (cm) as distâncias entre: região trocânter-maléolo externo; interlinha da perna-maléolo externo; maléolo externo-solo; maléolo externo-calcanhar; calcanhar – hálux. Após os registros, os valores eram submetidos a uma tabela de conversão a fim de se proceder com os ajustes do trilho do pedal, altura do assento da cadeira e altura do calcanhar em relação ao pedal.

Com o objetivo de reduzir à impedância na região onde se colocavam os eletrodos, a pele era esfoliada com esponja e limpa com álcool e gaze (Figura 10). A impedância deveria ficar abaixo de 5 k Ω , medida através de amperímetro digital.

Para o registro eletromiográfico, eletrodos auto-adesivos de superfície (Ag/AgCl) com 15 mm de diâmetro eram fixados os na região da panturrilha, 2 cm abaixo da inserção do gastrocnêmio para registro do músculo solear(SOL); outro par de eletrodos era fixado na região externo-anterior do terço superior da perna, para registro da atividade do músculo Tibial Anterior (TA). A distância entre os eletrodos (centro a centro) foi fixada em 2cm (Figura 12).O EMG era registrado diferencialmente , amplificado e filtrado (20-500 Hz). Em seguida eram fixados os eletrodos do eletroestimulador, com o cátodo na região da fossa poplíteia e o ânodo na região supra-patelar.



Figura 10 Assepsia da pele



Figura 11 Colocação dos eletrodos

Uma vez fixados os eletrodos, a criança era confortavelmente sentada na cadeira ajustável sem encosto, a fim de limitar a contribuição do tronco durante a avaliação. O pé era fixado firmemente no pedal ajustável, de forma que o eixo bi-maleolar coincidissem com o eixo de rotação do pedal. Através da utilização de um goniômetro, os ângulos dos joelhos e tornozelo foram mensurados. A articulação do joelho foi mantida em extensão de 120°(graus) e a do tornozelo a 90° (graus). Tais articulações eram mantidas nestas angulações durante toda a avaliação, a fim de que o torque articular fosse respeitado e, conseqüentemente, houvesse o melhor registro biomecânico. A coxa foi mantida imóvel, através de fita de velcro envolvendo seu terço inferior (Figuras 12, 13, e 14).



Figura 12 Fixação no pedal



Figura 13 Verificação dos ângulos



Figura 14 Posicionamento na cadeira

Após os procedimentos acima descritos, dava-se início à coleta dos registros. Os procedimentos para os testes de avaliação biomecânica duravam aproximadamente 1 hora, compreendendo (a) explicação do teste, (b) preparação da criança, (c) familiarização do teste e (d) procedimentos de avaliação da criança. Padronizou-se um período de repouso de 1 minuto intratestes e de 3 a 5 minutos intertestes.

Cada avaliação biomecânica contava com o trabalho de 3(três) avaliadores, com funções distintas durante os testes , porém sintonizadas. Enquanto um avaliador preparava a criança através das medidas antropométricas, assepsia de pele e familiarização com o teste, os outros dois realizavam os ajustes no pedal e assento. Ao iniciar a avaliação, o primeiro avaliador(1) permanecia ao lado da criança, esclarecendo o que estava ocorrendo e chamando sua atenção para a interatividade com a avaliação, através do osciloscópio. O segundo avaliador(2) observava as respostas aos estímulos, comunicando-as terceiro (3) avaliador, o qual controlava os registros no computador portátil(Figura 15).



Figura 15 Representação da avaliação

1- avaliador que interage; 2-Avaliador que controla estímulos 3- avaliador que registra aquisição;4- criança

Os testes de avaliação biomecânica realizados foram os seguintes:

1- **Onda M**- sempre o primeiro registro realizado. Trata-se da resposta motora direta, obtida através de eletroestimulação. Registra-se a onda M (M_{max} , 10 kHz) através da aplicação de estímulos elétricos supramáximos no nervo tibial posterior. A intensidade do estímulo era ajustada gradativamente, gerando uma série de respostas

(onda M) do músculo solear (SOL). A intensidade do estímulo capaz de ter provocado a maior resposta de contração era anotada, realizando-se em média 5 (cinco) estímulos.

2-Contração Voluntária Máxima (CVM): a força absoluta para a contração voluntária máxima foi determinada através da flexão plantar sob condições isométricas, enquanto se solicitava à criança a desenvolver sua máxima força contra o pedal imóvel. Eram realizados 3 registros em cada teste. Durante o teste, a criança podia acompanhar a evolução da sua força através da tela do osciloscópio, interagindo com o teste e sendo incentivada e observada pelos avaliadores durante o mesmo. A CVM de cada avaliação era definida com a maior força dos 3 registros obtidos.

A força máxima era então convertida para torque máximo, multiplicado pelos valores da força com o braço de alavanca correspondente. O braço de alavanca era a distância entre o eixo de rotação do pedal e a força do transdutor, o qual é conectado perpendicularmente à ventosa eletromagnética do pedal.

3- Propriedades elásticas do músculo- as propriedades elásticas do complexo músculo-tendíneo foram avaliadas pela técnica de liberação rápida de comprimento durante contração isométrica, conhecida como teste de *quick-release* (QR). Foi realizada através da súbita liberação do pedal, enquanto a criança mantinha sua flexão plantar contra o pedal. Eram realizados 3 (três) registros de força sub-máxima em cada proporção da CVM, ou seja, 25%, 50% e 75%.

3.4.3 Avaliação das Habilidades Motoras

A escolha da Escala de Habilidades Motoras foi motivada pela sua facilidade de aplicação nas condições locais, por já ser validada e padronizada em populações saudáveis e adaptada às crianças brasileiras.

O instrumento utilizado para coleta de dados motores foi a Escala de Desenvolvimento Motor -EDM (Rosa Neto, 2002). Esta é composta com base no seqüenciamento do desenvolvimento motor de crianças de 2 a 11 anos. Cada teste de habilidade possui graus de dificuldade distintos entre si, que são apresentados em ordem de aumento progressivo de complexidade. Assim, a tarefa de 2 anos apresenta-se como a mais simples e a tarefa de 11 anos a mais complexa. Rosa Neto (2002) ressalta que para realização das provas motoras da EDM foram selecionados os aspectos diferenciais de provas, respaldadas por diversos clássicos Ozeretski(1936), Brunet/Lezine(1978), Galifret-Granjon(1981).

A EDM compreende um conjunto de provas diversificadas e com nível de dificuldade gradativamente crescente, permitindo uma exploração minuciosa de diferentes setores do desenvolvimento, além de avaliar o nível de desenvolvimento motor da criança de acordo com a idade cronológica (IC). Na presente pesquisa foram utilizados somente os testes de motricidade global, motricidade fina, equilíbrio e lateralidade de mãos e pés.

Cada prova foi iniciada com o teste correspondente à IC da criança. Caso o sucesso fosse obtido na tarefa correspondente à IC, apresentava-se em seguida uma tarefa de idade mais avançada; em caso de fracasso, a tarefa correspondente à idade anterior era proposta.

Procedimentos de coleta

Equipamento: Tabela de pontuação da Escala do Desenvolvimento Motor; fichas de registro; lápis grafite; caneta esferográfica; lápis de cor; bola (6cm de diâmetro); alvo de 25 x 25cm; cadeira plástica (Tramontina[®]), caixa de fósforo vazia; cartão de 15cmx15cm e folhas de papel ofício.

Procedimentos: A EDM foi aplicada individualmente, no ambiente escolar, tendo como objetivo avaliar o desempenho nos movimentos básicos de locomoção e manipulação. O tempo em que cada escolar deveria permanecer em cada postura e o número de tentativas variaram de teste para teste segundo o protocolo proposto por Rosa Neto(2002).

As avaliações foram realizadas por 2 (dois) avaliadores os quais durante a sua aplicação forneceram uma demonstração e descrição verbal para cada criança. No decorrer do teste enquanto os 2 avaliadores observavam o desempenho da prova e depois um deles registrava a pontuação previamente discutida.

Dentre as habilidades propostas pela EDM, foram selecionados 3 (três) grupos de testes e registro da lateralidade para avaliação das habilidades motoras. Segue uma breve descrição das provas por componente de motricidade, com a idade relacionada demonstrada entre parênteses.

1-Motricidade Fina- Fazer bolinhas de papel de seda com um só mão (7 anos); com a ponta do polegar tocar com a máxima velocidade os dedos da mão, um após o outro, sem repetir a sequência(8 anos); arremessar uma bola (6cm de diâmetro), num alvo de 25 x 25cm (9 anos); a ponta do polegar esquerdo deve estar sobre a ponta do

índice direito e depois ao contrário (Figura 16). O índice direito deixa a ponta do polegar esquerdo e, desenhando uma circunferência ao redor do índice esquerdo, aí buscar a ponta do polegar esquerdo, entretanto, permanece o contato do índice esquerdo com o polegar direito(10 anos); agarrar com uma mão uma bola (6cm de diâmetro), lançada de 3 metros de distância (11 anos).

2-Coordenação Global – Com os olhos abertos, saltar num pé só ao longo de uma distância de 5 m (7 anos); saltar uma fita elástica numa altura de 40 cm (8 anos); saltar no ar e tocar os dois calcanhares (9 anos), Figura 17; deslocar um objeto por 5 metros com um dos pés(10 anos); saltar sobre uma cadeira (11 anos).

3-Equilíbrio – Equilíbrio de cócoras (7 anos); equilíbrio com o tronco flexionado sobre as pontas dos pés (8 anos); manter-se sobre o pé esquerdo com a planta do pé direito apoiada na face interna do joelho esquerdo, “fazendo um quatro”, com as mãos fixadas nas coxas e olhos abertos. Após descanso de 30 segundos, executar o mesmo movimento com a outra perna (9 anos), Figura 18; equilíbrio na ponta dos pés com os olhos fechados (10anos); manter-se em pé sobre uma das pernas com os olhos fechados (11 anos).

4-Lateralidade – **Olhos** : olhar por um furo no centro de um cartão de 15cmx15cm; fazer um telescópio com um rolo de papel e olhar por ele; Figura 19
Mãos: espontaneamente, escrever, pintar ou desenhar; **Pés** : chutar uma bola.



Figura 16 Prova de Motricidade fina



Figura 17 Prova Coordenação global

**Figura 18** Prova de Equilíbrio**Figura 19** Prova de Lateralidade

3.5 Análise dos Dados

3.5.1 Estado Nutricional

Os dados referentes ao estado nutricional foram submetidos à análise quantitativa, utilizando-se a estatística descritiva distribuição de frequência, percentual, média e desvio padrão).

3.5.2 Avaliação Biomecânica

Para análise dos dados da avaliação biomecânica foram utilizados os seguintes parâmetros:

1) Onda M- foram determinados o pico de torque da contração (PT), o tempo para se atingir o máximo da contração/Tempo de contração (CT, *contraction time*) e “Tempo de 50% do relaxamento” (HRT, *Half Relaxation Time*) para cada onda M registrada. Uma média foi calculada entre os 5(cinco) resultados.

2) Propriedades elásticas- a rigidez músculo-tendínea (S) foi calculada como a taxa de variação entre a aceleração angular(Θ'') a e o deslocamento angular($\Delta\Theta$) multiplicado pela inércia (I) e expressado pela fórmula:

$S = \Delta\Theta'' / \Delta\Theta * I$. Θ'' foi calculada como uma segunda derivativa de Θ . Para o cálculo da resistência (S) foi conduzido nos primeiros 20 milissegundos (ms). Então os

valores da rigidez músculo-tendínea foi relacionado ao torque isométrico correspondente calculado sobre 200 ms que precedem o movimento de liberação rápida do pedal. A filtragem do sinal foi realizada utilizando a média sobre 10 pontos.

3.5.3 Avaliação das Habilidades Motoras

Os registros na folha de respostas foram analisados a fim de determinar a idade motora atingida em cada componente de motricidade, sendo esta idade motora expressa em meses. Para pontuação os resultados positivos nos testes recebem o símbolo (1); os valores parcialmente positivos (1/2) e os negativos (0), os quais são anotados numa folha de resposta formatada para facilitar o registro dos resultados.

As idades motoras 1, 2 e 3 (IM1, IM2 e IM3), corresponderam às somas dos valores positivos alcançados nos testes de motricidade fina; coordenação global e equilíbrio, respectivamente.

A idade motora geral (IMG) foi determinada através da média obtida das IM1, IM2 e IM3, enquanto que o quociente motor geral (QMG) foi obtido através da divisão entre a IMG e IC (idade cronológica) multiplicada por 100.

$$IMG = \frac{IM1 + IM2 + IM3}{3} \quad QMG = \frac{IMG}{IC} \cdot 100$$

Os quocientes motores (QM1, QM2 e QM3) referentes a motricidade fina; coordenação global e equilíbrio foram obtidos através da divisão das IM1, IM2 e IM3 e IC multiplicado por 100.

A diferença entre IMG e IC forneceu a idade positiva (IP) e negativa (IN) de cada grupo, os valores foram positivos quando a IMG apresentou valores numéricos superiores à IC e negativo quando sucedeu o contrário.

A determinação do perfil motor dos grupos consistiu numa reprodução gráfica de resultados obtidos nas provas de motricidades permitindo uma comparação simples e rápida de diferentes aspectos do desenvolvimento motor, colocando em evidência os pontos fortes e fracos dos componentes de cada participante. Quanto à lateralidade, pode ser apresentada em destro completo, sinistro completo, indefinida e cruzada.

3.6 Tratamento Estatístico

As variáveis foram submetidas ao programa Sigma Stat 3.1 versão 2004.

Para análise dos dados biomecânicos foi utilizado o teste t- student para amostras não pareadas.

Para os dados da avaliação das habilidades motoras, utilizou-se o teste de Mann-Whitney para verificar possíveis correlações , com nível de significância 0,05.

3.7 Limitações do Estudo

O presente estudo sofreu limitações ao longo de sua realização, as quais serão descritas a seguir.

Inicialmente pensou-se em avaliar crianças de faixa etária menor, 7 anos, baseado em estudos anteriores realizados em crianças com problemas nutricionais. Porém, ao se realizar um estudo piloto para validação do ergômetro de tornozelo transportável com uma clientela formada crianças eutróficas de 7-9 anos de idade em Recife-PE, chegou-se a conclusão que por questões de compreensão sobre os comandos a serem seguidos a faixa etária para o estudo deveria ser entre 8 e 9 anos de idade.

Outro fato foi com relação às escolas na zona rural do município estudado, onde algumas não foram localizadas em virtude das condições climáticas e relevo da região. A ocorrência de chuvas e mau estado de conservação das estradas, deixaram os acessos rodoviários intransitáveis na maior parte do ano, tornando-se acessível somente durante o período de férias escolares do verão. Se por um lado as estradas fossem mais acessíveis, por outro lado a localização das crianças seria mais difícil, em virtude de deslocamentos com as respectivas famílias para outros municípios. As avaliações foram feitas entre agosto de 2007 e abril de 2008. A determinação de uma escala adequada para avaliação motora, compatível com a população-alvo, foi outra dificuldade enfrentada. A maioria das escalas validadas não se aplicava à faixa etária a ser avaliada, ou não eram validadas com crianças brasileiras.

Houve ainda as dificuldades enfrentadas pela equipe na localização dos participantes provocada pelo fenômeno migratório para o Sudeste e alternância de endereços residenciais, em virtude da entressafra da cana-de-açúcar.

RESULTADOS

4 RESULTADOS

No presente trabalho de tese, foram examinadas as consequências da desnutrição precoce sobre a biomecânica muscular esquelética e o desenvolvimento das habilidades motoras em escolares da Zona da Mata do Estado de Pernambuco. Quatro artigos científicos foram elaborados. Doravante, serão apresentados em ordem cronológica os artigos em suas versões originais.

ARTIGO 1

O primeiro artigo deste estudo intitula-se “A reproducibility study on musculotendinous stiffness quantification, using a new transportable ankle ergometer device”. Foi elaborado para mostrar os resultados do estudo de reprodutibilidade realizado com o Ergômetro de Tornozelo, a fim de testar a capacidade e acurácia do mesmo em indivíduos saudáveis. Foi aceito pelo *Journal of Biomechanics*, periódico com fator de impacto classificado como Qualis A pela CAPES (ANEXO B).

SHORT COMMUNICATION

A reproducibility study on musculotendinous stiffness quantification, using a new transportable ankle ergometer device

Daniel Lambertz^{1,4}; Maria G.Paiva^{1,2}; Sonia M.O.C. Marinho¹; Raquel Silva Aragão¹; Karla M.F.T. Barros²; Raul Manhães-de-Castro¹; Nassim Khider⁴; Francis Canon³

¹ Departamento de Nutrição – Universidade Federal de Pernambuco – Brazil

² Departamento of Fisioterapia – Universidade Federal de Pernambuco – Brazil

³ Département de Génie Biologique, UMR CNRS 6600 – Université de Technologie de Compiègne – France

⁴ Bio2M, Parc Technologique des Rives de l'Oise – 60280 Venette – France

Correspondence and proofs:

Daniel Lambertz, Ph.D.

Departamento de Nutrição - Universidade Federal de Pernambuco

Av Prof Moraes Rêgo, 1235 - Cidade Universitária

50670-901 Recife, PE

Tel.:0055 81 8602 9866

daniel.lambertz@hotmail.com

Total words (Introduction-Acknowledgements): 1488

Abstract

The use of biomechanical methods to quantify functional/physiological parameters in malnourished humans can provide new insights in the understanding of effects of malnutrition on human muscles. Therefore, a transportable ankle ergometer device was developed, which allows the quantification of mechanical properties of the human plantarflexor muscles in field experiments. More precisely, the ergometer quantifies isometric force in static conditions and musculotendinous stiffness in dynamic conditions. This later parameter is obtained by the quick-release technique. The aim of the study was first to conduct a reproducibility study on musculotendinous stiffness. Seven healthy subjects were tested three times in alternate days. The results showed the well-known linear relationship between musculotendinous stiffness and torque, where the slope was used as a stiffness index (SI_{MT}). Individual regression line comparison indicated that SI_{MT} values were not significantly different between the three repeated measurements ($P>0.05$). Mean coefficient of variation was $4.5\pm 1.0\%$. The individual SI_{MT} data were within the range of those reported in the literature. The reproducibility study showed, that the quantification of musculotendinous stiffness by means of the quick-release technique is a reliable method, using a transportable ankle ergometer device.

KEY WORDS: Transportable ergometer device, quick-release technique, musculotendinous stiffness

INTRODUCTION

In the Northeast of Brazil, malnutrition is still a preoccupying factor from a public health perspective, and it has possibly irreversible consequences in the development of muscle function. Recently, we reported that some mechanical parameters in isolated rat soleus muscle, such as musculotendinous stiffness, were modified due to malnutrition during the prenatal (Toscano et al., 2008) or neonatal period (Barros et al., 2004). It can be questioned whether the use of biomechanical methods can provide functional/physiological parameters, helpful in understanding the effects of malnutrition in human muscles.

To assess muscle mechanical properties in humans, hydraulic or motorized ergometer devices are often used in laboratories (Hof, 1998; Tognella et al., 1997). These ergometer devices are heavy equipment, and it is difficult to conduct experiments in other locations in order to evaluate different populations in their own environments. Therefore, a transportable ankle ergometer was designed to conduct field experiments on musculotendinous stiffness in urban and rural villages of the Northeast of Brazil. To show the reliability of this new device, a reproducibility study was first conducted on healthy volunteers.

METHODS

Testing machine: The transportable ergometer device (Bio2M-France) is composed of an adjustable seat and an adjustable rotational footplate (Figure 1) so that subjects with different anthropometric characteristics can be evaluated.

Isometric force in static mode is measured by an S-type load cell (maximal force 500N) that is connected to an electromagnet (maximal holding force 790N) ensuring the isometric condition of the muscles.

For anisometric testing, angular displacement (Θ) is measured by an optical absolute encoder. In its dynamic mode, musculotendinous stiffness is assessed by means of the quick-release technique (Goubel & Pertuzon, 1973), which is largely used for isolated muscles.

Subjects and testing protocol: Seven healthy male graduate students (age: 25.3 ± 2.3 years, weight: 68.7 ± 3.3 kg, height: 170.7 ± 2.3 cm, ankle height: 6.3 ± 0.2 cm, lower leg length: 37.1 ± 0.6 cm) gave their informed consent. The local committee of hygiene, safety, and ethics for human studies approved the experimental protocol. Subjects were familiarized with the testing protocol in a preliminary session and then tested three times on alternating days. During this session, ankle height (6 to 7.3 cm) and leg length (36 to 40 cm) were measured to adjust the seat height and the rotational footplate so that its axis of rotation coincided with the horizontal bimaleollar axis. The angles of knee and ankle joints were adjusted to 120° and 90° , respectively. The familiarization session included the proper execution of the plantarflexion and three to five releases with the quick-release test. A full test session was carried out to familiarize the subjects with the maintenance of submaximal torque levels.

Stiffness measurements: Measurements were carried out by a sudden and fast release of the isometrically contracted muscle three times at different levels of a submaximal isometric torque equal to 25 Nm, 40 Nm, and 55 Nm. Mechanical data, which are sampled during a quick-release movement, include force (converted to torque, T) and Θ (sample frequency 4 kHz). The technical procedure of the quick-release technique did not allow torque measurements during the quick-release movement. Nevertheless, it

is assumed that, at the very beginning of the initial sudden and fast release, static torque equals dynamic torque and that acceleration is maximal, i.e., $T = I \cdot \ddot{\Theta}_{\max}$ (I is inertia; $\ddot{\Theta}$ is angular acceleration) (Figure 2).

Some comments should be made about the detection of $\ddot{\Theta}_{\max}$, since this can be influenced by remanence effects of the electromagnet and inertial effects. Indeed, remanence effects were observed during the initial time lapse of 8ms to reach $\ddot{\Theta}_{\max}$ (Figure 2). Remanence effects were minimized by using an adjusted tension supply. The influence of inertial effects was minimized by using low-density material (Aluminum) and mechanical millworking of the footplate.

Musculotendinous stiffness is calculated as the ratio between variations in $\ddot{\Theta}$ and Θ within a time lapse of 20ms, i.e., when elastic elements are supposed to recoil: $S = \Delta\ddot{\Theta} / \Delta\Theta \cdot I$ (S is stiffness) (Figure 2). In this equation, inertia is assumed to be constant.

Data processing was conducted on the measured Θ and calculated $\ddot{\Theta}$ obtained by calculation of angular velocity. Θ and its calculated derivatives were filtered by using a mean smoothing technique over 10 points.

Data Analysis: A musculotendinous stiffness index (SI_{MT}) was calculated by taking the slope of the obtained linear angular stiffness-torque relationship (Lambertz et al., 2001). This form of analysis results in a normalized stiffness value. Furthermore, the intercept value of the constant inertia-torque relationship was taken as measured inertia. Then, measured inertia values were compared to a calculated inertia (footplate plus foot). Inertia of the footplate was calculated by the formula: $I = \int r^2 dm$ (Enoka, 2004), where

dm is a mass point and r is the distance of the mass point between the center of mass and the axis of rotation. Inertia of the foot was taken from the literature regarding the Somersault axis (Enoka, 2004).

Statistics: Regression line comparison analyses were carried out between the three individual stiffness-torque relationships of each subject. Regression line comparison allows for the comparison of regression models and to determine, whether data can be modeled by using a single model across groups. In the present experiment, the regression line model was of the form $y = a x + b$. ANOVA analysis detected whether the slopes were significantly different. Statgraphics® statistical analysis software was used. Statistical significance was set to $P < 0.05$. Values are mean $\pm$ SEM.

RESULTS

Table 1 represents individual SI_{MT} values. For all subjects, stiffness increased linearly with the maintained target torque ($n=9$, $r > 0.66$, $P < 0.05$) (Table 1). Multiple regression line comparisons were carried out for each subject and indicated no statistical differences in SI_{MT} among the three repeated measurements. The mean coefficient of variation was $4.5 \pm 1.0\%$. SI_{MT} can also be used to distinguish between subjects with compliant or stiff MT complexes. As shown in Table 1, SI_{MT} values showed some heterogeneity between the different subjects. For example, subject S7 had a stiffer MT complex compared to subject S1.

As expected, no relationship was found between inertia and the maintained torque. As shown in Table 2, the coefficient of correlation was always lower than the critical value

($n=9$, $r_{crit}=0.66$, $P>0.05$). Also given are individual intercept values of the inertia-torque relationships (Table 2). The mean coefficient of variation was $4.3\pm 1.1\%$.

Finally, measured and calculated inertia values were compared to give information about the quality of the data processing, i.e., the detection of $\ddot{\Theta}_{max}$. Indeed, mean smoothing resulted in the zero phase shift of the signal, but it also caused some amplitude loss. This can lead to an overestimation of the measured inertia. Calculated inertia of the footplate plus the foot was $I = 0.018 \text{ kg m}^2$. This value was somewhat lower than the measured values of inertia ($0.0208\text{-}0.0304 \text{ Nms}^2\text{rad}^{-1}$).

DISCUSSION

In the present study, musculotendinous stiffness increased linearly with the maintained torque (Hof et al., 1998; Lambertz et al., 2001) and showed a low variation in individual SI_{MT} data, indicating the reliability of the present method. Furthermore, data were within the range of those previously reported in the literature. For example, Rabita et al. (2008) reported an SI_{MT} value of 1.83rad^{-1} for control subjects, and Lambertz et al. (2003) reported a value of 3.90rad^{-1} . It was also possible to observe differences in SI_{MT} between subjects with compliant or stiff musculotendinous complexes. Physiological aspects were discussed in other papers, e.g., work Tognella et al. (1997) and Cornu et al. (2001).

Tognella et al. (1997) gave some considerations about the quick-release technique, e.g., that the time-course of the release *in vivo* is necessarily longer than that during *in vitro* experiments. In theory, acceleration is maximal at the initial instantaneous release of the footplate. However, due to remanence and inertial effects, the release of the footplate is delayed. Since acceleration is the derivative of displacement, which is zero at the initial

release, a delay in the calculation is necessary. This can be seen in Figure 2. This effect is combined with the data processing procedure. Some amplitude loss can be considered to be due to the mean smoothing technique so that $\ddot{\Theta}_{\max}$ is detected on an extrapolated signal. This can lead to an overestimation of inertia. Nevertheless, as was expected, inertia was independent of the maintained torque and presented a low variation, which shows the reliability of the present method.

Finally, the original aspect of the present ergometer device is the fact that laboratory tests were done on a transportable ergometer device that was able to quantify mechanical properties of human muscles during field experiments, e.g., examining for malnutrition in the Northeast of Brazil where access to this population is difficult.

CONCLUSION

The reproducibility study showed that the quantification of musculotendinous stiffness by using the quick-release test is a reliable method. The different anthropometric data of the tested subjects showed the usefulness of the adjustment of seat height and rotational axis. The transportable ergometer device and its associated testing protocol provide functional/physiological parameters that can be helpful in understanding the effects of malnutrition in human muscle.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by grants from the CNPq and CAPES-COFECUB, Brazil. We thank Prof. Francis Goubel for initiating the collaboration between UFPE and UTC. We are indebted to Clotilde Vanhoutte for technical assistance.

REFERENCES

- Barros, K.M.F.T. Canon, F. Freitas-Silva, S.R. Manhães de Castro, R. Goubel F., 2004. Neonatal malnutrition: effects on contractile and elastic properties. *Archives of Physiology and Biochemistry Sup* 112, 154.
- Cornu, C. Goubel, F. Fardeau, M., 2001. Muscle and joint elastic properties during elbow flexion in Duchenne muscular dystrophy. *Journal of Physiology* 533, 605-616.
- Enoka, R.M., 2004. Neuromechanics of human movement. In: Enoka, R.M., (Ed), *Neuromechanics of human movement. Human Kinetics. Champaign, IL*, p 73.
- Hof, A.L., 1998. In vivo measurement of the series elasticity release curve of human triceps surae muscle. *Journal of Biomechanics* 31, 783-800.
- Goubel, F. Pertuzon, E., 1973. Evaluation de l'élasticité du muscle in situ par une méthode de quick-release. *Archives International de Physiologie, Biochimie, Biophysique* 81, 697-707.
- Lambertz, D. Pérot, C. Kaspranski, R. Goubel, F., 2001. Effects of long-term spaceflight on mechanical properties of muscles in humans. *Journal of Applied Physiology* 90, 179-188.
- Rabita, G. Couturier, A. Lambertz, D., 2008. Influence of training background on the relationships between plantarflexor intrinsic stiffness and overall musculoskeletal stiffness during hopping. *European Journal of Applied Physiology* 103, 163-171.
- Tognella, F. Mainar, A. Vanhoutte, C. Goubel, F., 1997. A mechanical device for studying mechanical properties of human muscles in vivo. *Journal of Biomechanics* 30, 1077-1080.

Toscano, A.E. Manhães de Castro, R. Canon, F., 2008. Effect of a low-protein diet during pregnancy on skeletal muscle mechanical properties of offspring rats. Nutrition 24, 270-278.

Figures



Figure 1 Front view of the transportable ankle ergometer device. The ergometer is composed of the adjustable seat and adjustable footplate box with its electronics.

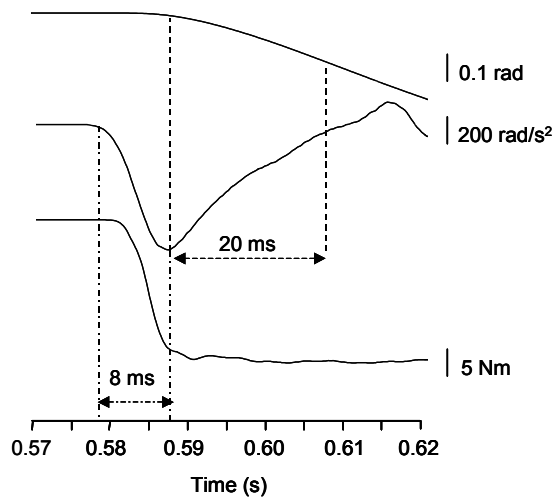


Figure 2 recording of force, angular displacement and calculated angular acceleration from quick –release test at low torque. As one can see, maximal acceleration is achieved within a lapse of time of 8 ms. Also indicated is the lapse of time is 20ms to calculate the variations in angular acceleration and angular displacement.

Tables

Table 1 Individual musculotendinous stiffness index values (SI_{MT}) from the three repeated measurements and the coefficient of variation (CV). In brackets, the coefficient of correlation r of the linear angular stiffness-torque relationships ($n = 9$, $r_{crit} = 0.66$, $p < 0.05$).

Subject	$SI_{MT} \text{ (rad}^{-1}\text{)}$			CV (%)
	Measurement 1	Measurement 2	Measurement 3	
S1	1.28 (0.92)	1.37 (0.89)	1.37 (0.95)	3.88
S2	1.41 (0.92)	1.49 (0.90)	1.37 (0.94)	4.29
S3	1.74 (0.83)	1.69 (0.81)	1.62 (0.91)	3.58
S4	1.47 (0.90)	1.41 (0.97)	1.47 (0.91)	2.38
S5	2.37 (0.95)	2.88 (0.94)	2.73 (0.76)	9.85
S6	2.06 (0.91)	1.86 (0.82)	1.85 (0.89)	6.16
S7	3.85 (0.92)	3.97 (0.91)	3.84 (0.99)	1.86

Table 2 Individual intercept values (measured inertia) from the three repeated measurements and the coefficient of variation (CV). In brackets, the coefficient of correlation r of the inertia-torque relationships ($n = 9$, $r_{crit} = 0.66$, $p > 0.05$).

Subject	Intercept ($\text{Nm s}^2 \text{ rad}^{-1}$)			CV (%)
	Measurement 1	Measurement 2	Measurement 3	
S1	0.0286 (0.12)	0.0281 (0.26)	0.0284 (0.25)	0.88
S2	0.0276 (0.37)	0.0273 (0.37)	0.0278 (0.39)	0.91
S3	0.0279 (0.23)	0.0297 (0.15)	0.0304 (0.03)	4.39
S4	0.0281 (0.04)	0.0260 (0.39)	0.0259 (0.21)	4.65
S5	0.0225 (0.57)	0.0219 (0.59)	0.0208 (0.59)	9.65
S6	0.0281 (0.57)	0.0246 (0.41)	0.0270 (0.49)	6.73
S7	0.0265 (0.15)	0.0262 (0.31)	0.0246 (0.24)	3.96

ARTIGO 2

O segundo artigo deste estudo é intitulado “Mechanical properties of prepubertal children in the Northeast of Brazil: A validation study” . Foi realizado para validar os testes biomecânicos em crianças na região metropolitana do Recife, a fim de validar a técnica para crianças da região Nordeste. Foi submetido como artigo original à revista *Brazilian Journal of Biomechanics*, classificada como qualis B internacional pela CAPES (Anexo C).

Mechanical properties of prepubertal children in the Northeast of Brazil: A validation study

Paiva MG ^{1,2}; Souza TOL ²; Marinho SMOC ¹; Manhães-de-Castro R ¹; Barros KMFT²
; Lambertz D¹

¹ Departamento de Nutrição – Universidade Federal de Pernambuco – Brazil

² Departamento de Fisioterapia – Universidade Federal de Pernambuco – Brazil

Running head: Mechanical properties in prepubertal children

Correspondence and proofs:

Daniel Lambertz, Ph.D.

Departamento de Nutrição - Universidade Federal de Pernambuco

Av Prof Moraes Rêgo, 1235 - Cidade Universitária

50670-901 Recife, PE

Tel.:0055 81 8602 9866

daniel.lambertz@hotmail.com

Resumo

Objetivos: A utilização de métodos em biomecânica pode determinar parâmetros funcionais para compreensão dos efeitos de agressões precoces como a desnutrição sobre a musculatura esquelética. Este estudo descreve a quantificação de propriedades mecânicas do grupo muscular tríceps sural (TS) em pré-adolescentes (7 a 9 anos) no Nordeste do Brasil. **Metodologia:** A avaliação consistiu em quantificação da resistência musculotendinosa (MT), usando a técnica de *quick-release*, e das propriedades contráteis durante o *twitch* obtido por estimulação supramáxima do nervo tibial posterior. O índice de resistência (SI_{MT}) foi definido pela inclinação da reta resultante da relação linear resistência angular-torque. Os Twitchs foram caracterizados pelo pico de torque (Pt), e tempos de contração (CT) e relaxamento médio (HRT). **Resultados:** Os resultados mostraram diminuição ($P<0,05$) no SI_{MT} com o aumento da idade. Como era esperados um aumento na resistência com a idade devido à maturação dos tecidos elásticos, sugere-se que a sobre-ativação do TS contribuiu para os valores mais altos de SI_{MT} encontrados nos mais jovens. Quanto às características do twitch, os resultados confirmaram a relação entre o processo de crescimento e o aumento ($P<0,05$) no Pt dentro de uma faixa limitada da idade. Contudo, as características de cinética da contração (CT e HRT) não foram afetadas pela idade, o que sugere um perfil de tipo de fibra já estabelecido dentro da faixa de idade testada. **Conclusão:** As relações relativas às idades estabelecidas por este estudo podem servir de valores de referência para testes clínicos do desempenho do TS em pré-adolescentes que apresentem problemas como desnutrição.

Palavras chave: Biomecânica, músculo esquelético; criança

Abstract

Objective: The use of biomechanical methods can provide functional/physiological parameters, helpful in understanding the effect of malnutrition on human muscles. Therefore, the present study described first the quantification of mechanical properties of the triceps surae (TS) muscle group in healthy prepubertal children (7 to 9 years of age) in the Northeast of Brazil. **Methods:** Mechanical properties consisted in the quantification of musculotendinous (MT) stiffness by using the quick-release technique and twitch contractile properties due to a supramaximal stimulation of the posterior tibial nerve. A stiffness index (SI_{MT}), defined as the slope of the linear angular stiffness-torque relationship, was used to quantify changes in MT stiffness. Twitches were characterized by peak torque (Pt), contraction time (CT) and half relaxation time (HRT). **Results:** Results showed a significant ($P<0.05$) decrease in SI_{MT} with age. Because an increase in stiffness with age was expected due to the maturation of elastic tissues, over-activation of the TS was suspected to contribute to the higher SI_{MT} values found in the youngest children. As for the twitch characteristics, results confirmed the link between growth process and the significant ($P<0.05$) increase in twitch torque for prepubertal children within a limited range of age. However, the time-course characteristics (CT and HRT) were not affected by age, what suggest an already established fiber type profile within the tested range of age. **Conclusion:** The age related relationships established by this study would serve as reference values for clinical testing of the TS performance in malnourished prepubertal children.

Key Words: Biomechanics; skeletal muscle, prepubertal children

Introduction

In animals, the differentiation in slow and fast muscles takes place during the first weeks of life and is accomplished at about six weeks after birth (Wigston and English, 1992). However, the process of maturation of passive structures, like tendons, seemed to be later. In rabbits, modifications in the ultrastructure of the Achilles tendon have been reported by Nakagawa et al. (1994) with an increase of the surface and the diameter of collagen fibers. These modifications in the ultrastructure influenced also the elastic properties. Nakagawa et al. (1996) reported that conjunctive tissue and the Achilles tendon were relatively compliant up to the age of 8 to 12 month.

In children, some studies reported that the neuromuscular properties are similar to those of adult subjects within the first years of life (Vecchierini-Blineau and Guiheneuc, 1981). This neurophysiological study was confirmed by studies about the fiber type differentiation and the contractile properties. Elder & Kakulas (1993) reported that the plantar flexor muscles have contractile properties of a fast muscle up to the age of eight month. At the age of three years, this muscle group is complete differentiated.

During growth, human skeletal muscles undergo both structural and functional changes due to muscular, neuronal, hormonal and biomechanical factors (Belanger and McComas, 1989), leading to an increase in physical performance (Beunen and Malina, 1988; Kanehisa et al., 1995a). Taking into account that muscle force is one of the most important determinants of physical performance, a number of studies were focalized on the force production capacities in isometric and isokinetic conditions. Most of the studies reported an increase in muscle force with the age of children, whatever the analyzed muscle group (Belanger and McComas, 1989; Kanehisa et al., 1995a; Pääsuke et al., 2000). When muscle force was normalized with regard to the cross sectional area, the increase in force was still significantly different for the elbow extensor and flexors

whatever the age (Kanehisa et al., 1995a). For the knee flexor, the plantar flexor of the ankle and the elbow extensor, normalized force was significantly different between pre- and post-pubertal children (Kanehisa et al., 1995a; Kanehisa et al., 1995b). These reported differences were mainly attributed to growth related differences in body dimension and muscular mass. After normalization with body mass (Seger and Thorstensson, 2000), these differences were lower but still present, indicating that other mechanisms must be responsible for the differences in normalized force. Some of the above cited studies reported that the differences in normalized force and age could be due to maturation processes of the nervous system and the neuromuscular coordination (Belanger and McComas, 1989; Kanehisa et al., 1995a; Kanehisa et al., 1995b). Indeed, Belanger and McComas (1989) reported that the voluntary activation capacities are lower in prepubertal children compared to adolescents. Furthermore, the maximal torque in isometric and isokinetic conditions were similar between prepubertal boys and girls, but it increased afterwards with age more in boys than in girls (Kanehisa et al., 1995b).

Concerning the elastic properties, data in the literature are scarce with regard to growth. Only Lin et al. (1997) and Lebieadowska and Fisk (1999) reported an increase in passive muscular stiffness for the plantar flexor and the stiffness of the muscular articular system of the knee, respectively. In active conditions, the stiffness index of the musculotendinous complex decreased with age for the knee extensor (Cornu et al., 1998) and the plantar flexor (Lambertz et al., 2003), whereas it was similar for the elbow flexor (Cornu and Goubel., 2001).

The aim of the present study was to describe the force production capacities and the elastic properties of Brazilian prepubertal children, aged 7 to 9 years, using a transportable ankle ergometer device. This should allow getting an urban city reference

population with this new ankle ergometer, in order to compare them with malnourished prepubertal children from rural villages in the Northeast of Brazil.

Materials and Methods

Testing machine

The technical support (Bio2M, France) of the present transportable ergometer device (Lambertz et al., 2008) has been derived from an ankle ergometer, already used in adult subjects (Goubel and Pertuzon, 1973). Briefly, the present, transportable ergometer device is composed of an adjustable seat and an adjustable rotational footplate, fixed in front of the seat, so that subjects of different statural growth can be measured. Isometric force in static condition is measured by an S-type load cell (maximal force 500N) connected to a holding electromagnet (maximal holding force 790N) ensuring the isometric state of the muscles. Angular displacement (Θ) is measured by using an optical absolute encoder. A PC type computer equipped with an analogue-to-digital converter board is used for data acquisition. Specific menu-driven software controlled all procedures and recorded mechanical variables and electromyograms (EMG; 4 kHz sampling frequency) for later analysis. A dual beam oscilloscope gave the child visual feedback about the procedure in progress.

Subjects

Twenty-eight 7- to 9-years old prepubertal children (15 girls and 13 boys) were tested in a school in Recife. All children were classified as euthrophic with regard to the nutritional status (Onis et al., 2007). The experimenter and the legal guardians

determined pubertal status, based on parameter as pubic hair, breast development and no apparent changes in the voice and skin. All children were classified as prepubescent.

Anthropometric measurements included height, foot length and body mass. The legal guardians of the children gave written informed consent. The local committee of ethics of the Federal University of Pernambuco for research involving human beings approved the experimental protocol.

Experimental protocol

The subject was comfortably placed on an adjustable seat without back support in order to limit the contribution of the trunk to the requested effort. The right foot was attached rigidly to the adjustable footplate, so that the horizontal bi-malleolar axis coincided with the axis of rotation of the footplate. The knee was extended to 120° and the ankle was placed to 90° of dorsiflexion, i.e. neutral position. The thigh was maintained by a restraint system in order to keep it immobilized.

Surface electromyogram (EMG System do Brasil) was detected on the soleus muscle (Sol), using self-adhesive Ag/AgCl surface electrodes (15 mm in diameter). To reduce the electrode impedance to below 5 k Ω , the skin area over the electrode application sites was gently rubbed with an abrasive sponge and cleaned with an alcohol pad. The electrodes were placed over the belly of the soleus muscle, about 2 cm below the insertion of the gastrocnemii on the Achilles tendon. The ground electrode was placed over the tibia. EMG was recorded differentially, amplified and band-pass filtered (20-500 Hz).

The maximal motor direct response ($M_{\max}$, 10 kHz sampling frequency) was elicited by applying a supramaximal electrical stimulation to the posterior tibial nerve with the cathode located in the poplitea fossa and the anode placed to the thigh,

proximal to the patella. The stimulus intensity was adjusted so as to obtain the maximal M wave of the Sol. Since this experiment was conducted while the force transducer was attached to the holding electromagnet, the twitch response due to the electrical stimulation was measured. Five twitch responses were measured.

Then, absolute force from a maximal voluntary contraction (MVC) was determined in plantarflexion under isometric conditions, while the child was asked to develop a maximal contraction against the footplate. The MVC of the day was defined as the highest force of three attempts to generate the maximal effort. Maximal force was then converted to maximal torque by multiplying the force values with the corresponding moment arm. The moment arm was the distance between the axis of rotation of the footplate and the force transducer, which was attached perpendicular to the footplate by the holding electromagnet. Maximal relative torque values were also considered with regard to dimensions that changes with growth, i.e. expressed as the ratio between maximal absolute torque and foot length ($\text{Torque}_{\text{rel-FL}}$), as foot length may be related to the length of the tendon moment arm, and body mass ($\text{Torque}_{\text{rel-BM}}$) (Seger and Thorstensson, 2000).

Finally the elastic properties of the musculotendinous complex were assessed by means of a quick-release technique adapted for in vivo experiments by Goubel and Pertuzon (1973). As in isolated muscles, the aim was to determine the stiffness of the so-called series elastic component (SEC). Since the quick-release technique characterizes SEC stiffness of Hill's model (1938), a major proportion of the series elasticity resides in the tendon (passive component of the SEC), whereas cross-bridges constitute the active component of the SEC (Huxley and Simmons, 1971).

Quick-release movements from the neutral position were achieved by a sudden releasing of the footplate while the child maintained a submaximal voluntary isometric force in plantarflexion. Three trials were performed at 25%, 50% and 75% of MVC.

A full test session, including rest periods, lasted approximately one hour and comprised (i) explanation to the test, (ii) preparation of the child, (iii) familiarization to the test and (iv) the actual test, which was presented once to each child. Rest periods were standardized in terms of intratest (1 min) and intertest (3-5 min).

Data processing

Peak twitch torque (Pt), contraction time (CT) and half relaxation time (HRT) were determined for each M wave record. To do so, the start time of the twitch and Pt were determined manually and CT and HRT were calculated automatically. Then a mean value was calculated by averaging the five results.

Musculotendinous stiffness is calculated as the ratio between variations in $\ddot{\Theta}$ and $\dot{\Theta}$ within a time lapse of 20ms, i.e. when elastic elements are supposed to recoil: $S = \Delta\ddot{\Theta} / \Delta\dot{\Theta} \cdot I$ (S is stiffness). In this equation, inertia is assumed to be constant.

Data processing was conducted on the measured $\dot{\Theta}$ and calculated $\ddot{\Theta}$ obtained by calculation of angular velocity. $\dot{\Theta}$ and its calculated derivatives were filtered by using a mean smoothing technique over 10 points.

SEC characteristics were measured at the very beginning of the quick-release movement, i.e. when the elastic elements are supposed to recoil and before any reflex changes in muscle activation (e.g. unloading reflex) (Angel et al., 1965) were possible. Thus, stiffness calculation was conducted over the first 20 ms.

Then, musculotendinous stiffness values were related to the corresponding isometric torque, calculated over the 200 ms preceding the quick-release movement. The slope of the linear stiffness-torque relationship so obtained was defined as a stiffness index of the musculotendinous complex and proposed to attest changes in musculotendinous stiffness. Taking a stiffness index has the advantage to be independent of the required torque level and to avoid the use of MVC or cross-sectional measurements for normalizing musculotendinous stiffness (Lambertz et al., 2001).

Statistics

Statistical analyses included linear regression analyses to test stiffness-torque relationships as well as relationships between the different parameters and age. A one-way ANOVA was carried out to analyze the effect of prepubertal age on the parameters. When ANOVA indicated significant differences, a multiple comparison procedure was applied to determine which means are significantly different from which others. A Fisher's least significant difference procedure was used to discriminate among means. A level of $P < 0.05$ was selected to indicate statistical significance. Mean values are represented as mean $\pm$ SEM.

Results

Anthropometric data

Table 1 summarizes the results of the anthropometric data. ANOVA analyses indicated significant differences for body weight ($F [2, 23] = 4.42$; $P = 0.026$), foot length ($F [2, 23] = 4.44$; $P = 0.026$) and height ($F [2, 23] = 3.78$; $P = 0.041$).

Maximal voluntary contraction

As for the torque from a maximal voluntary contraction ANOVA analyses indicated significant differences for the maximal torque values ($F [2, 23] = 3.93$; $P = 0.039$). More precisely, significant differences were found between the 7-years (17.8 ± 4.4 Nm) old children and the 9-years (34.6 ± 8.7 Nm) old children. No significant differences were found for relative torque values ($\text{Torque}_{\text{rel-FL}}$ and $\text{Torque}_{\text{rel-BM}}$).

Twitch properties

Figure 1 shows the evolution of peak twitch torque with the age of the prepubertal children. As one can see, peak twitch torque increased linearly ($n = 3$; $r = 0.999$; $p < 0.05$) with the age of the children. The ANOVA analysis indicated that the differences between the age groups were significantly ($F [2, 23] = 8.20$; $P = 0.0039$). More precisely, significant differences were found between the 7-years (4.00 ± 0.7 Nm) old children and the 8-years old children (7.2 ± 0.4 Nm) old children, the 7-years old children and the 9-years (11.1 ± 0.8 Nm) and the 8-years old children and the 9-years old children.

As for the twitch kinetics, no significant differences were found between the age groups for CT ($F [2, 23] = 1.12$; $P = 0.35$) (95.9 ± 2.2 ms) and for HRT ($F [2, 23] = 0.62$; $P = 0.55$) (90.2 ± 2.6 ms).

Musculotendinous stiffness

As shown in figure 2, SI_{MT} values decreased with the age of the prepubertal children. The ANOVA analysis indicated that the differences between the age groups were significant ($F [2, 23] = 6.11$; $P = 0.007$). More precisely, significant differences were found between the 7-years ($6.95 \pm 0.54 \text{ rad}^{-1}$) old children and the 8-years ($5.11 \pm 0.59 \text{ rad}^{-1}$) old children, as well as, the 7-years old children and the 9-years (4.47 ± 0.45

rad⁻¹) old children. Furthermore, SI_{MT} values of the three child groups were significantly different from adult data (data from Lambertz et al. (2008), obtained with the same device).

Discussion

Some experimental procedures were used to quantify modifications in muscle force, twitch kinetics and elastic properties of the triceps surae muscle group with the age of prepubertal children. These different procedures allowed the solicitation of the muscle during induced contractions and voluntary contractions. The results obtained with each part of the protocol will be discussed in relation to age of the prepubertal children and compared to results obtained in European prepubertal children.

Anthropometric data

The anthropometric data reported in the present study were in agreement with those reported by others for European school children (Lambertz et al., 2003; Grosset et al., 2005). Obviously, anthropometric data of prepubertal children increased with age, so that significant differences were found between the youngest and the oldest children. Such age-related increases in body mass with statural growth were already reported (Kanehisa et al., 1995a). It seemed also that the increase in body mass appeared to be the most important parameter during young childhood (Seger and Thorstensson, 2000). The present results indicated that the body mass of the oldest children was 1.24 times that of the youngest child group, whereas height was only ~1.1 times greater.

Maximal voluntary force

The maximal voluntary torque in isometric conditions increases with the age of the prepubertal children. This evolution is similar to those reported for European prepubertal children (Lambertz et al., 2003; Grosset et al., 2005).

Others have also reported increases in maximal voluntary torque in isometric conditions with age for the knee extensors (Cornu et al., 1998), the elbow flexors (Cornu and Goubel, 2001) and for the plantar and dorsi flexors of the ankle joint (Belanger and McComas, 1989; Kanehisa et al., 1995b; Pääsuke et al., 2000). However, most of the cited studies were interested in the comparison between prepubertal children (10-11 years) and young adolescent (14-16 years). Only Lambertz et al. (2003) and Grosset et al. (2005) were interested in studying a more narrow age span of 7 to 11 years. In the same way, the present study was interested in the narrow age span of 7 to 9 years in Brazilian prepubertal children. We also showed a significant increase in maximal voluntary torque with the age of the prepubertal children.

Some mechanisms, which can contribute to the increase in maximal voluntary torque, have been indicated by Grosset et al. (2005): the increase in the number of sarcomeres in parallel and the increase in muscle fiber section. Furthermore, since torque is the product between muscle force and moment arm, variations can also be due to variations in moment arm with the age of the prepubertal children.

When normalizing muscle force with regard to the anatomical cross sectional area (Kanehisa et al., 1995a) or to body mass (Pääsuke et al., 2000; Seger and Thorstensson, 2000), the differences were less but they still remained different all along the considered life span. The present study also revealed a trend of increase in the relative maximal isometric torque. This means that other mechanisms than muscle

volume or tendon moment arm must be responsible for the increase in maximal voluntary torque.

Most of the above-cited studies, hypothesized that the increase in maximal voluntary torque should be due to an improvement in the activation capacities with age of prepubertal children. Indeed, Lambertz et al. (2003) and Grosset et al. (2005) reported that the youngest children were less able to activate maximally their muscles. These experiments analyzed the activation capacities with regard to coactivation or the activation deficit, the latter one was obtained by the twitch interpolation method. The present results are in favor of such an improvement in the maximal force development in prepubertal children with age in the Northeast of Brazil.

Twitch properties

The increase in the maximal twitch amplitude, revealed an improvement of the contractile properties with the age of the prepubertal children. The evolution of the present data was similar those reported for European prepubertal children (Grosset et al., 2005).

Significant increases in twitch amplitude were already reported when comparing pre and postpubertal children (Belanger and McComas, 1989; Pääsuke et al., 2000) or between prepubertal children aged 7 to 11 years (Grosset et al., 2005). This later study showed also increases when normalized to the muscles diameter. Some considerations about the increase in twitch amplitude were given by Grosset et al. (2005). It has been proposed that, among others like increase in muscle fiber diameter and number of sarcomeres, changes in the myosin ATPase activity contributes to the increase in twitch amplitude with age of the prepubertal children. In other words, the most important increases in the contractile properties seems not to be due to changes in the myosin type

profile, since the fiber type distribution profile is already established at the age of 3 to 4 years (Elder and Kakulas, 1993).

This can also explain that the twitch kinetic parameters, like CT and HRT did not show significant differences with the age of the prepubertal children. When considering that the twitch kinetic parameters induced *in vivo* gives information about the muscle fiber distribution (Rice et al., 1988), the fiber type distribution seems to be the same between the children aged 7 to 9 years.

Elastic properties

The present study reported changes in the elastic properties of the muscle-tendon complex with age of prepubertal children. The evolution of the present results was similar to those reported for European prepubertal children (Lambertz et al., 2003).

As reported by others, knee extensors and plantar flexors presented a decrease in musculotendinous stiffness index (Cornu et al., 1998; Lambertz et al., 2003), whereas no change was observed for the elbow flexors (Cornu and Goubel, 2001). These authors proposed that differences in the maturation process exist between the active and the passive fraction of the upper and lower muscle groups in terms of musculotendinous stiffness.

In the present study, the decrease in SI_{MT} with age cannot be explained by differences in the active fraction, i.e. the fiber type distribution, since it is known that fiber differentiation is accomplished at the age of 3 to 4 years (Elder and Kakulas, 1993). With regard to the passive elastic properties, Kubo et al. (2001) reported an increase in tendon stiffness of the vastus lateralis for children aged between 11 to 15 years. Therefore, as proposed by Lambertz et al. (2003) changes in the activation

capacities can influence musculotendinous stiffness measurement. These results confirm data of the literature (Lambertz et al., 2003) in Brazilian prepubertal children.

Conclusion

The present results reported the maturation process of prepubertal children aged in the narrow age span of 7 to 9 years. The quantification of the mechanical properties using the transportable ergometer device showed that the maturation of the muscles in prepubertal children in the Northeast of Brazil is similar to those reported for European prepubertal children. These data can be used as a reference target group for clinical studies in relation to malnutrition.

Acknowledgements

The authors are grateful to the children who participated in this study and the schoolteachers, who invited us to work in that educational institution. This study was supported by grants from CNPq.

References

1. Angel RW, Eppler W, Iannone A. Silent period produced by unloading of muscle during voluntary contraction. J Physiol 1965; 180: 864-870.
2. Belanger AY, McComas AJ. Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. Eur J Appl Physiol 1989; 58: 563-567.
3. Beunen G, Malina RM. Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. In: Pandolf KB (ed) Exercise and Sports Sciences Reviews. New York: Macmillan Publishing Company, 1988. 503-540.
4. Cornu C, Goubel F. Musculo-tendinous and joint elastic characteristics during elbow flexion in children. Clin Biomech 2001; 16: 758-764.
5. Cornu C, Goubel F, Fardeau M. Stiffness of knee extensors in Duchenne muscular dystrophy. Muscle & Nerve 1998; 21: 1772-1774.
6. Elder GCB, Kakulas BA. Histochemical and contractile property changes during human muscle development. Muscle & Nerve 1993; 16: 1246-1253.
7. Goubel F, Pertuzon E. Evaluation de l'élasticité du muscle in situ par une méthode de quick-release. Arch Int Physiol Biochim 1973; 81: 697-707.
8. Grosset JF, Mora I, Lambertz D, Pérot C. Age-related changes in twitch properties of plantar flexor muscles in prepubertal children. Pediatr Res 2005; 58: 966-970.
9. Hill AV. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. Proc R Soc B 1938; 126: 136-195.
10. Huxley AF, Simmons RM. Proposed mechanism of force generation in striated muscle. Nature 1971; 233: 533-538.

11. Kanehisa H, Ikegawa S, Tsunoda N, Fukunaga T. Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence. Int J Sports Med 1995a; 16: 54-60.
12. Kanehisa H, Yata H, Ikegawa S, Fukunaga T. A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. Eur J Appl Physiol 1995b; 72: 150-156.
13. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. Int J Sports Med 2001; 22: 138-143.
14. Lambertz D, Pérot C, Kaspranski R, Goubel F. Effects of long-term spaceflight on mechanical properties of muscles in humans. J Appl Physiol 2001; 90: 179-188.
15. Lambertz D, Grosset JF, Mora I, Pérot C. Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. J Appl Physiol 2003; 95: 64-72.
16. Lambertz D et al. A reproducibility study on musculotendinous stiffness quantification, using a new transportable ankle ergometer device. J Biomech 2008; (in press)
17. Lebiedowska MK, Fisk JR. Passive dynamics of the knee joint in healthy children and children affected by spastic paresis. Clin Biomech 1999; 14: 653-660.
18. Lin JP, Brown JK, Walsh EG. Soleus muscle length, stretch reflex excitability, and the contractile properties in children and adults: a study of the functional joint angle. Dev Med Child Neurol 1997; 39: 469-480.

19. Nakagawa Y, Hayashi K, Yamamoto N, Nagashima K. Age-related changes in biomechanical properties of the Achilles tendon in rabbits. Eur J Appl Physiol 1996; 73: 7-10.
20. Nakagawa Y, Majima T, Nagashima K. Effect of aging in ultrastructure of slow and fast muscle tendon in rabbit Achilles tendons. Acta Physiol Scand 1994; 152: 307-313.
21. Onis M, Onyango AW, Borghi E, Siyam A, Nishida C, Siekam J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. Bul World Health Organization 2007; 85: 660-667.
22. Pääsuke M, Erline J, Gapeyeva H. Twitch contraction properties of plantar flexor muscles in pre- and post-pubertal boys and men. Eur J Appl Physiol 2000; 82: 459-464.
23. Rice CL, Cunningham DA, Taylor AW, Paterson DH. Comparison of the histochemical and contractile properties of the human triceps surae. Eur J Appl Physiol 1988; 58: 165-170.
24. Seger JY, Thorstensson A. Muscle strength and electromyogram in boys and girls followed through puberty. Eur J Appl Physiol 2000; 81: 54-61.
25. Vecchierini-Blineau MF, Guiheneuc P. Excitability of the monosynaptic reflex pathway in the child from birth to 4 years of age. J Neurolog Neurosurg 1981; 44: 309-314.
26. Wigston DJ & English AW. Fiber type proportions in mammalian soleus muscle during postnatal development. J Neurobiol 1992; 23: 61-70.

Tables

	7-year n = 9	8-year n = 8	9-year n = 11
Height (cm)	128.6 ± 0.8	133.1 ± 2.2	139.4 ± 3.3

		*	

		*	
Foot length (cm)	19.6 ± 0.5	20.9 ± 0.3	21.6 ± 0.3

		*	

		*	
Body mass (kg)	25.3 ± 1.1	29.1 ± 1.6	31.5 ± 1.5

		*	

		*	

Table 1. Anthropometric data of the prepubertal children at different ages. * indicated significant differences at $P < 0.05$ from ANOVA analysis. Data are mean ± SEM.

Foot length (cm)

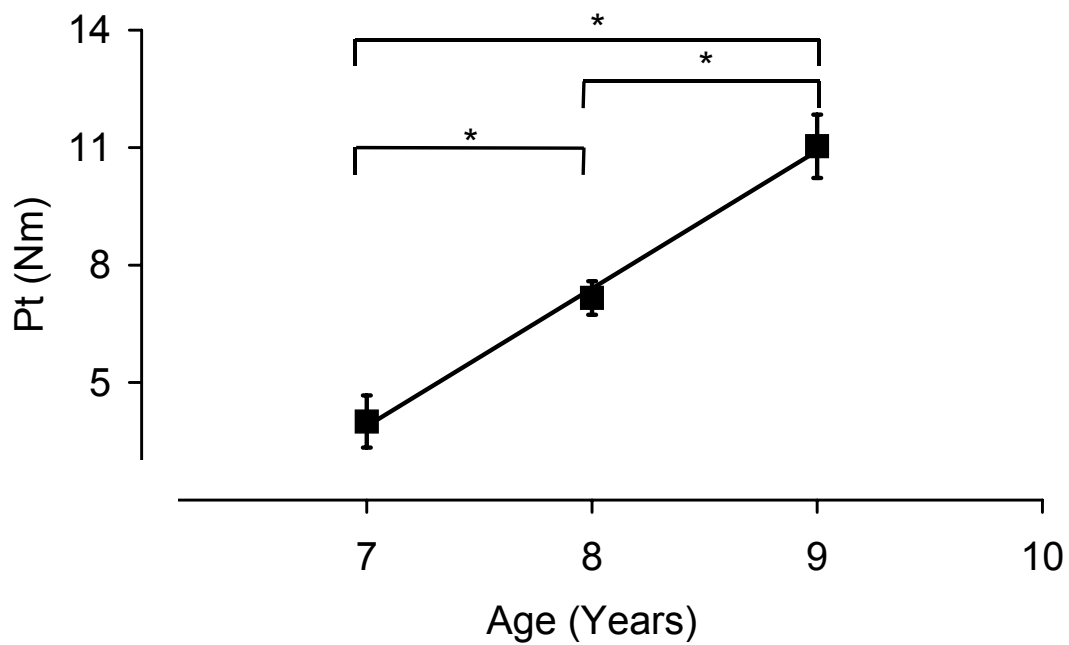
Figures

Figure 1. Twitch torque (Pt) of the prepubertal children at the different ages. Twitch torque increased linearly with age. * indicated significant differences at $P < 0.05$ from ANOVA analysis. Data are mean $\pm$ SEM

Figures

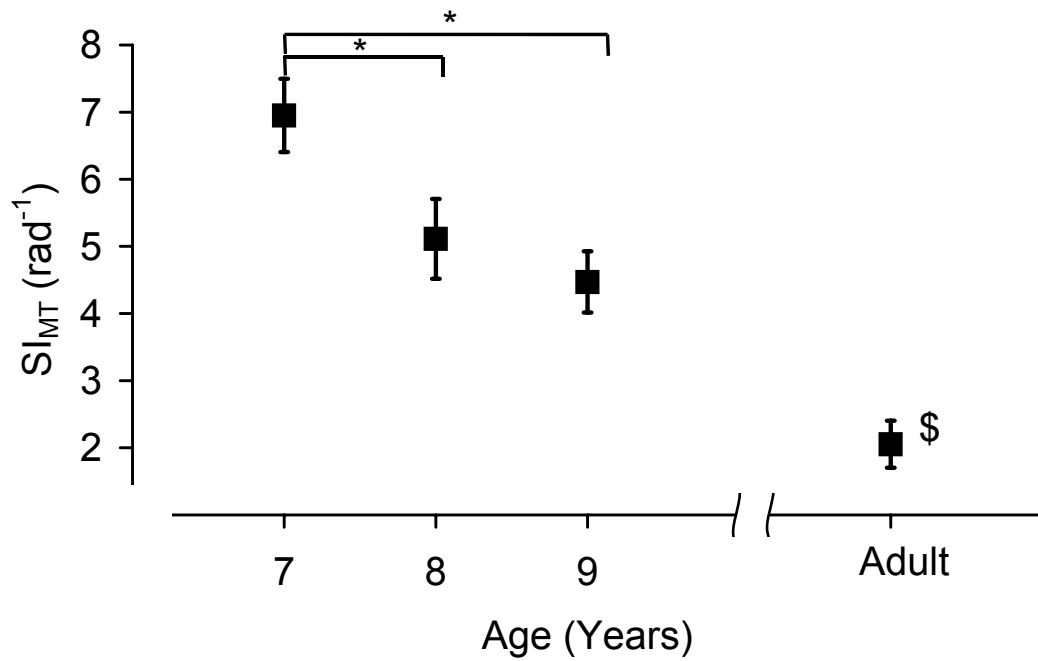


Figure 2. Musculotendinous stiffness index (SI_{MT}) of the prepubertal children at the different ages. * indicates significant differences between the child groups and \$ indicates significantly different from the child groups at $P < 0.05$ from ANOVA analysis. Data are mean $\pm$ SEM.

ARTIGO 3

O terceiro artigo deste estudo é intitulado “Mechanical properties of the plantar flexor muscles in prepubertal children with indicators of risk to early malnutrition. Trata-se de um dos artigos investigativos principais desta tese, por apresentar respostas à primeira pergunta condutora. Mostra os resultados da avaliação biomecânica usando o Ergômetro de Tornozelo em pré-adolescentes da zona da mata de Pernambuco. A ser submetido revista *Journal of Physiology*.

Mechanical properties of the plantar flexor muscles in prepubertal children with indicators of risk to early malnutrition

Paiva MG ^{1,2}; Souza TOL ²; Marinho SMOC ¹; Amaral PRAG ²; Barros KMFT ²; Canon F ³; Manhães-de-Castro R ¹; Pérot C ³; Lambertz D ¹

¹ Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Brazil

² Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Pernambuco, Brazil

³ Université de Technologie de Compiègne, CNRS UMR 6600, Biomécanique et Bioingénierie, 60205 Compiègne cedex, France

Running head: Mechanical properties in malnourished prepubertal children

Correspondence and proofs:

Daniel Lambertz, Ph.D.

Departamento de Nutrição - Universidade Federal de Pernambuco

Av Prof Moraes Rêgo, 1235 - Cidade Universitária

50670-901 Recife, PE

Tel.:0055 81 8602 9866

daniel.lambertz@hotmail.com

Abstract

The aim of this study was to evaluate the mechanical properties in prepubertal children with and without indicators risk of early malnutrition. The sample was composed of 42 prepubertal children of both gender, so that 17 subject composed risk nutritional group (R) and 25 composed euthrophic group (E), with 9 years-old (± 2 months) old. Mechanical properties were determined by using an ankle ergometer device, which allowed determining the contractile and elastic properties of triceps surae (TS). The quantification of the force production capacities was achieved on voluntary and induced conditions, and elastic properties through quick release technique. The results indicated that maximal voluntary contraction (MVC), twitch torque (Pt) and musculotendinous index (SI_{MT}) were significantly level different between groups. The results indicated that early malnutrition is able to induce changes on muscle mechanical properties, as lower force production and higher musculotendinous stiffness. The lower force production could be related with less muscle mass. Higher musculotendinous stiffness is thought to be related to coactivation. Interestingly, young healthy prepubertal children are less able to activate optimally the agonist muscles compared to their older counterparts. This is in accordance with the hypothesis of a delay in maturation in malnourished subjects. Further studies on motricity evolution and malnutrition will be useful to understand functional mechanisms involving muscle function and repercussions in locomotion.

Introduction

In the Northeast of Brazil, malnutrition is still a preoccupying factor from a public health perspective, and it has possibly irreversible consequences in the development of muscle function. Indeed, alterations in the development of muscular function have been related to the nutritional status during the prenatal period (Toscano et al., 2008) or the postnatal period (Wilson et al., 1988; Oumi et al., 2000; Barros et al., 2004). To study this initial phase of life becomes more and more interesting due to the high amounts of events, which occur during this early phase of life. In the nervous system, the series of events which occur determines the neurochemical and the morphological structures in the adult (Morgane et al., 1993). The speed at which the cellular events occur during this period led the organism to be more vulnerable to external aggression, like malnutrition. This can led to permanent repercussion on the organism what led to the definition of the concept of the critical period for the development of the nervous system (Dobbing, 1970). Nevertheless, the literature also indicates the existence of specific critical periods in the development of the organic system (Wilson et al., 1988).

Over the last years our research group dedicated its work to the study of malnutrition, using the rat as experimental model (Guedes et al., 2002; Barros et al., 2004; Barros et al., 2006; Barreto-Medeiros et al., 2007; Toscano et al., 2008; Freitas Silva et al., 2008). More recently, our group reported that some biomechanical parameters, like twitch force, the force-velocity relationship and series elastic stiffness were modified due to malnutrition during the critical period (Barros et al., 2004; Toscano et al., 2008).

In human beings, several studies indicated correlations between alterations of infantile development and biological risk factors, like early malnutrition, what led to

delays in the motor development (Barros et al., 2003). Furthermore, it was reported that malnourished children presented a reduction in muscular mass and damages in motor functions (Bénéfice et al., 1999). Although these studies indicated that early malnutrition can have consequences on the development of fine motor abilities, studies about the influence of malnutrition on muscle mechanical properties, like muscle force and elastic properties, have not been carried out. It can be questioned whether early malnutrition has consequences on the normal maturation process of muscles. Such maturation processes of the neuromechanical properties of the triceps surae muscle group have been already described in prepubertal children (Lambertz et al., 2003; Grosset et al., 2005; 2008).

The aim of the present study was to quantify the force production capacities in voluntary and induced conditions, as well as the elastic properties of the triceps surae muscle group in prepubertal children with and without indicators of early malnutrition. It is hypothesized that due to a possible delay in the maturation of the neuromuscular system, the mechanical properties of prepubertal children with risk of early malnutrition showed an evolution of these parameters like those children who were younger. Preliminary results have been published recently in abstract form (Paiva et al., 2008)

Materials and Methods

Testing machine

The technical support of the transportable ergometer device (Lambertz et al., 2008) has been derived from an ankle ergometer, already used in adult subjects (Goubel & Pertuzon, 1973). Briefly, the transportable ergometer device is composed of an adjustable seat and an adjustable rotational footplate, fixed in front of the seat, so that subjects of different statural growth can be measured. Isometric force in static condition

is measured by an S-type load cell (maximal force 500N) connected to a holding electromagnet (maximal holding force 790N) ensuring the isometric state of the muscles. Angular displacement (Θ) is measured by using an optical absolute encoder. A PC type computer equipped with an AD converter board is used for data acquisition. Specific menu-driven software controlled all procedures and recorded mechanical variables and electromyograms (EMG) for later analysis. Mechanical data and EMG are sampled by using a 4 kHz sampling frequency. A dual beam oscilloscope gave the child visual feedback about the procedure in progress.

Subjects

Forty-seven, 9-years (± 2 months) old prepubertal children of both genders were tested at the Secretaria Municipal de Saúde in Gameleira, Pernambuco, Brazil. The experimenter and the legal guardians determined the pubertal status. Based on breast development, pubic hair and no apparent changes in the voice and skin, all children were classified as prepubescent. The nutritional status of the prepubertal children was determined by means of the height-to-age ratio, as recommended by the World Health Organization (WHO, 2007). Thus, a risk nutritional group (R) was composed of 17 children (5 girls and 12 boys) and a euthrophic nutritional group (E) was composed of 25 children (7 girls and 18 boys). Five children were afraid of the testing machine, so that they were excluded from the study. Anthropometric measurements included the measurement of body mass, height, and calf circumference and foot length. The study obtained approval by the Committee of Ethics in Research of the Federal University of Pernambuco, according to norms and regulates of the directions for research with human beings CNS 196 /96 (Process N° 015/2005). The legal guardians were fully

instructed about the experimental procedure and signed a term of free and clarified consent. The legal guardians were free to withdrawal the children at any time.

Experimental protocol

The child was comfortably placed on an adjustable seat without back support in order to limit the contribution of the trunk to the requested effort. The right foot was attached rigidly to the adjustable footplate, so that the horizontal bi-malleolar axis coincided with the axis of rotation of the footplate. The knee was extended to 120° and the ankle was placed to 90° of dorsiflexion, i.e. neutral position. The thigh was maintained by a restraint system in order to keep it immobilized.

Surface electromyograms (EMG system do Brasil) were detected on the soleus muscle (Sol), using self-adhesive Ag/AgCl surface electrodes (15 mm in diameter). To reduce the electrode impedance to below 5 k Ω , the skin areas over the electrode application sites were gently rubbed with an abrasive sponge and cleaned with an alcohol pad. The electrodes were placed over the belly of the soleus muscle, about 2 cm below the insertion of the gastrocnemii on the Achilles tendon. The ground electrode was placed over the tibia. EMG was recorded differentially, amplified and band-pass filtered (20-500 Hz).

The maximal motor direct response ($M_{\max}$, 10 kHz sampling frequency) was elicited by applying a supramaximal electrical stimulation to the posterior tibial nerve with the cathode located in the poplitea fossa and the anode placed to the thigh, proximal to the patella. The stimulus intensity was adjusted so as to obtain the maximal M wave of the Sol. Since this experiment was conducted while the force transducer was attached to the holding electromagnet, the twitch response due to the electrical stimulation was measured. Five twitch responses were measured. For this part of the

experiment, it was not possible to elicit a supramaximal electrical stimulation in five children, so that this experimental procedure was excluded for these children. Thus, twitch responses were obtained in 12 children of the risk group and 17 children of the euthrophic group.

Then, absolute force from a maximal voluntary contraction (MVC) was determined in plantarflexion under isometric conditions, while the child was asked to develop a maximal contraction against the footplate. The MVC of the day was defined as the highest force of three attempts to generate the maximal effort. Maximal force was then converted to maximal torque by multiplying the force values with the corresponding moment arm. The moment arm was the distance between the axis of rotation of the footplate and the force transducer, which was attached perpendicular to the footplate by the holding electromagnet. Maximal relative torque values were also considered with regard to dimensions that change with growth, i.e. expressed as the ratio between maximal twitch torque or maximal MVC torque and calf circumference.

Finally the elastic properties of the musculotendinous (MT) complex were assessed by means of a quick-release technique adapted for *in vivo* experiments (Goubel & Pertuzon, 1973). As in isolated muscles, the aim was to determine the stiffness of the so-called series elastic component (SEC). Since the quick-release technique characterizes SEC stiffness of Hill's model (Hill, 1938), a major proportion of the series elasticity resides in the tendon (passive component of the SEC), whereas cross-bridges constitute the active component of the SEC (Huxley & Simmons, 1971).

Quick-release movements from the neutral position were achieved by a sudden releasing of the footplate while the child maintained a submaximal voluntary isometric force in plantarflexion. Three trials were performed at 25%, 50% and 75% of MVC.

A full test session, including rest periods, lasted approximately one hour and comprised (i) explanation to the test, (ii) preparation of the child, (iii) familiarization to the test and (iv) the actual test, which was presented once to each child. Rest periods were standardized in terms of intratest (1 min) and intertest (3-5 min).

Data processing

Peak twitch torque (Pt), contraction time (CT) and half relaxation time (HRT) were determined for each M wave record. To do so, the start time of the twitch and Pt were determined manually and CT and HRT were calculated automatically. Then a mean value was calculated by averaging the five results.

Musculotendinous stiffness was calculated as the ratio between variations in $\ddot{\Theta}$ (angular acceleration) and $\dot{\Theta}$ within a time lapse of 20ms, i.e. when elastic elements are supposed to recoil: $S = \Delta\ddot{\Theta} / \Delta\dot{\Theta} \cdot I$ (S is stiffness, I is inertia). In this equation, inertia is assumed to be constant (see figure 1).

Data processing was conducted on the measured $\dot{\Theta}$ and calculated $\ddot{\Theta}$ obtained by calculation of angular velocity. $\dot{\Theta}$ and its calculated derivatives were filtered by using a mean smoothing technique over 10 points.

SEC characteristics were measured at the very beginning of the quick-release movement before any reflex changes in muscle activation (e.g. unloading reflex) (Angel et al., 1965) were possible. Thus, stiffness calculation was conducted over the first 20 ms (Lambertz et al., 2001).

Then, musculotendinous stiffness values were related to the corresponding isometric torque calculated over a time window of about 200 ms, preceding the quick-release

movement. The slope of the linear stiffness-torque relationship so obtained was defined as a stiffness index of the musculotendinous complex (SI_{MT}) (Lambertz et al., 2001) and proposed to attest changes in musculotendinous stiffness. Taking a stiffness index has the advantage to be independent of the required torque level and to avoid the use of MVC or cross-sectional measurements for normalizing musculotendinous stiffness (Lambertz et al., 2001).

All parameters were also expressed in % changes with regard to E group.

Statistics

Statistical analyses included linear regression analyses to test stiffness-torque relationships. All parameters were first tested on their normal distribution running a standardized skewness and kurtosis test. Then, a student t-test for unpaired changes was used to analyze statistical differences of all parameters between R group and E group. Statgraphics® statistical analysis software was used. A level of $P < 0.05$ was selected to indicate statistical significance. Mean values are represented as mean $\pm$ SE.

Results

Anthropometric data

Table 1 summarizes the anthropometric data of the R group and the E group. As indicated, all anthropometric data showed significant differences between R group and E group.

Twitch torque and MVC torque

Figure 1 and figure 2 summarizes the torque values obtained from voluntary and induced contractions, as well as normalized torque values with regard to calf circumference. Statistical analysis indicated that MVC torque showed a tendency of lower torque values in R group. Twitch torque was significantly different between the R group and the E group. This led to significant decreases of 32.1% for the MVC torque and 37 % for the twitch torque. When torque values were normalized, no significant difference was found between R group and E group for normalized twitch torque. Normalized MVC torque still showed a tendency of significant difference between R group and E group. This difference led to a decrease of 27.8% for normalized MVC torque.

Twitch kinetics

Table 2 summarizes CT and HRT mean values. As one can see, CT and HRT showed no significant differences between R group and E group.

Musculotendinous stiffness

Figure 1 gives individual MT stiffness – torque relationships for a child of the risk group and a child of the euthrophic group. As one can see, SI_{MT} is steeper for the child of the risk group. Table 2 gives the values of SI_{MT} between R group and E group. Statistical analyses indicated that the difference in SI_{MT} between both groups was significant. This led to a significant increase of 38 %.

Discussion

Some experimental procedures were used to quantify the influence of early malnutrition on mechanical properties of the plantar flexor muscles in prepubertal children of the Northeast of Brazil. The different procedures allowed the solicitation of the triceps surae muscle group during induced and voluntary contractions.

Anthropometric data

Height-to-age ratio of prepubertal children was used as indicator of early malnutrition (WHO, 2007). Indeed, the present study showed that statural growth in prepubertal children with risk of malnutrition was lower than in those who were classified as euthrophic. The lower body weight and calf circumference may indicate that muscle atrophy due to early malnutrition is one of the prominent factors. Several studies already reported lower body weight in undernourished (Bénéfice & Malina, 1996) or malnourished (Bénéfice et al, 1999) children. Nevertheless, muscle-to-body weight ratio from rat experiments indicated that other mechanisms could also hold for the lower body weight (Toscano et al., 2008). In this study, the influence of intrauterine undernutrition was hypothesized as possible mechanism.

Mechanical properties of electrically induced contractions

In isolated muscle, CT and HRT are related to fiber type profile, cross-bridge cycling, and calcium release and reuptake from the sarcoplasmic reticulum (Berchthold et al., 2000). Furthermore, SEC properties can influence CT and HRT kinetics (Hill, 1951).

The fiber type profile from 25 days old soleus muscle of malnourished rats was reported during prenatal period (Toscano et al., 2008), indicating a higher percentage of type IIa fibers in malnourished rats. Thus, a difference in the twitch kinetics of isolated soleus muscle was suspected. Nevertheless, Toscano et al., (2008) reported no significant differences in CT and HRT. The influence of changes in SEC properties was also taken into consideration, but could not explain the lack of change in CT and HRT. As a possible mechanism, modification in the thyroid status was proposed (Arruda et al., 2005; Harrison et al., 1996), which counteract the decrease in CT and HRT as expected by the fiber type transition.

In humans, CT and HRT are mainly related to the fiber type profile (Rice et al., 1988). In healthy children, Elder and Kakulas (1993) reported that the fiber type profile of the soleus muscle is already established at the age of 3 to 4 years. Since no significant differences were found in CT and HRT, it can be hypothesized that the fiber type profile in prepubertal children of R group and E group was the same. It can be mentioned that the present CT and HRT time values were lower than those reported for European children (Elder & Kakulas, 1993; Grosset et al., 2005), which were about 110 ms for CT and 95 ms for HRT. Thus, it can be hypothesized that 9 years old prepubertal children from the rural zone of the Northeast of Brazil have a higher percentage in fast twitch fibers.

Mechanical properties of voluntary contractions

The present study reported a lower voluntary isometric torque in children with risk of early malnutrition. This result is in accordance with those obtained in isolated, 25 days old Soleus muscles of rats (Barros et al., 2004; Toscano et al., 2008). In

children, studies about skeletal muscles and malnutrition are scarce. Only Bénéfice et al. (1999) observed a reduction in muscle mass due to malnutrition and muscle hypotrophy is suggested. Indeed, the strength developed by muscles is known to be proportional to the number of sarcomeres in parallel and thus to the physiological cross sectional area (Ikai & Fukunaga, 1986). Thus, the lower voluntary isometric torque in the R group can be due to the fact that prepubertal children have less muscle mass. This was approached by the measurement of the calf circumference, which was significantly lower in R group compared to E group. Nevertheless, when normalizing voluntary isometric torque with regard to calf circumference, a tendency of lower normalized voluntary isometric torque was still observed. This may indicate that another mechanism can contribute to the decrease in voluntary isometric torque in children of the R group. Indeed, maximal isometric torque in voluntary conditions depends also on the activation capacities of the subjects (Moritani & De Vries, 1979), i.e. how the subject contracts the agonist muscle. Indeed, maximal isometric torque represents the net torque about the ankle joint (agonist minus antagonist), and it has been already reported that young healthy prepubertal children are less able to activate optimally the agonist muscles compared to their older counterparts (Grosset et al., 2008). A higher degree of coactivation was observed in the youngest children (Lambertz et al., 2003; Grosset et al., 2008). Thus, when also present in prepubertal children with risk of early malnutrition, a higher degree of coactivation can lead to a lower voluntary isometric torque. Thus, it is hypothesized that prepubertal children with a risk in early malnutrition present neuromechanical properties of younger healthy children, when compared to children of the same age group. This is in

accordance with the observation that early malnutrition led to a delay in the maturation process of the neuromuscular system (Barros et al., 2006).

MT stiffness is classically separated into two fractions: an active fraction located in muscle fibers and a passive fraction situated in tendons (Huxley & Simmons, 1971). This heterogeneity of the MT complex leads to non-linear tension-extension relationships and MT stiffness is classically linearly related to torque. Some results in the literature suggest that slow and fast fibers may well have different elastic characteristics. For instance, it was demonstrated that, when a training technique increases the percentage of fast twitch fibers in the soleus muscle, its SEC stiffness decreases (Almeida-Silveira et al., 1994). The opposite mechanical change (i.e. an increase in SEC stiffness) was also associated with a relative increase in slow twitch fibers (Goubel & Marini, 1987). In humans, differences in MT stiffness have already been reported after periods of changes in the functional demand, as a result of training (Pousson et al., 1990) or microgravity (Lambertz et al., 2001). Furthermore, the maturation of elastic properties of the MT complex has been reported in the literature. For example, it was reported that the stiffness index of the MT complex decreased with age for the knee extensor (Cornu et al., 1998) and the plantar flexor (Lambertz et al., 2003), whereas it was similar for the elbow flexor (Cornu & Goubel, 2001). A physiological aspect can be the influence of coactivation on MT stiffness measurement (Tognella et al., 1997; Cornu et al., 2001). Indeed, Lambertz et al. (2003) quantified the coactivation during MT stiffness measurements. In their study, a higher degree of coactivation was found in the youngest children, who presented also the higher MT stiffness index values, compared to their younger counterparts (Lambertz et al., 2003). Thus, adaptation in stiffness of the MT complex can occur from a number of subsystems

For instance, animal experiments indicated an increase in SEC stiffness due to early malnutrition during the prenatal period (Toscano et al., 2008). This cannot be due to a higher percentage of fast twitch fiber of the active fraction of the SEC. An adaptative response of the passive fraction of the SEC was proposed to counteract the decrease in SEC stiffness of the active fraction (Toscano et al., 2008). Thus, in the same way, the increased stiffness index of the MT complex can be due to an increase in the passive fraction, since the fiber type profile of the plantar flexor muscles in prepubertal children is established at the age of 3 to 4 years (Elder & Kakulas, 1993). This seems to be also the case in the present study with regard to the twitch kinetic properties. Furthermore, coactivation was proposed as possible mechanism. As proposed above, malnutrition led to a delay in the maturation of the neuromuscular system (Barros et al., 2006). SI_{MT} values of the risk group prepubertal children were similar to those of younger children of the Brazilian metropolitan children (Figure 2). This figure also indicated that the maturation of the elastic properties in malnourished prepubertal children is delayed by about 10 months. Such an delay what quantified during motor ability tests in the same children (personal communication)

Conclusion

The results of this study showed that nutritional status can induce alterations in muscle mechanical properties. Data suggest a delay in maturation of the neuromuscular system. This fact could lead to repercussions not only in daily living activities but also in sportive activities. More studies are suggested for better briefings mainly to quantify the occurrence of muscular coactivation in infantile population. Repercussion of this kind of alteration in motor abilities would be also useful to understand motor evolution adaptations due to early aggressions as malnutrition.

References

1. Almeida-Silveira MI, Pérot C, Pousson M, and Goubel F (1994) Effects of stretch shortening cycle training on mechanical properties and fiber type transition in the rat soleus muscle. *Pflügers Arch* 427, 289-294.
2. Arruda AP, Oliveira GM, Carvalho DP, De Meis L (2005) Thyroid hormones differentially regulate the distribution of rabbit skeletal muscle Ca(2+)-ATPase (SERCA) isoforms in light and heavy sarcoplasmic reticulum. *Mol Membr Biol* 22, 529-537.
3. Barreto-Medeiros J, Queiros-Santos A, Cabral-Filho JE, Ferreira E Silva WT, Leandro CG, Deiró TC, Manhães-de-Castro R, Machado Barbosa de-Castro CM (2007) Stress/aggressiveness-induced immune changes are altered in adult rats submitted to neonatal malnutrition. *Neuroimmunomodulation*. 14, 229-334.
4. Barros, K.M.F.T., Fragoso, A.G.C., Oliveira, A.L.B., Cabral-Filho, P. I., Manhães-de-Castro, R. (2003). Do environmental influences alter motor abilities acquisition? *Arquivos Neuropsiquiatria*, 6, 170-175.
5. Barros K.M.F.T., Canon F., Freitas-Silva S.R., Manhães-de-Castro R., Goubel F. (2004) Neonatal malnutrition: effects on contractile and elastic properties. *Arch Physiol Biochem Suppl* 112, 154.
6. Barros, K.M.F.T., Manhães-de-Castro, R., Lopes-de-Souza S., Matos R.J., Deiró, T. C., Cabral-Filho P.I., Canon, F. (2006) A regional model (Northeastern Brazil) of induced malnutrition delay ontogeny of reflex and locomotor activity in rats. *Nutritional Neuroscience* 9, 999-1004.
7. Bénéfice E., Fouéré T., Malina R.M. (1999). Early nutritional history and motor performance of Senegalese children, 4-6 year of age. *An Hum Biol* 26, 443-455.

8. Benefice, E., Malina, R.M. (1996). Body size, body composition and motor performances of mild-to-moderately undernourished Senegalese children. *Annals of Human Biology*, 23(4), 307-321.
9. Cornu C, Goubel F (2001) Musculo-tendinous and joint elastic characteristics during elbow flexion in children. *Clin Biomech* 16, 758-764.
10. Cornu C, Goubel F, Fardeau M (1998) Stiffness of knee extensors in Duchenne muscular dystrophy. *Muscle & Nerve* 21, 1772-1774.
11. Cornu C, Goubel F, Fardeau M (2001) Muscle and joint elastic properties during elbow flexion in Duchenne muscular dystrophy. *J Physiol* 533, 605-616.
12. Dobbing, J. Undernutrition and the developing brain (1970) *American Journal of Diseases in Children*, v.120, n.1, p.411-415.
13. Elder GCB, Kakulas BA. Histochemical and contractile property changes during human muscle development. *Muscle & Nerve* 16, 1246-1253, 1993.
14. Freitas-Silva SR, Manhães-de-Castro R & Pérot C (2008) Is the maturation of monosynaptic stretch reflex in rats affected by neonatal malnutrition? *Nutr Neurosci* 11, 207-212.
15. Goubel F and Marini JF (1987) Fiber type transition and stiffness modification of soleus muscle of trained rats. *Pflügers Arch* 410, 321-325.
16. Goubel F., Pertuzon E. (1973) Evaluation de l'élasticité du muscle in situ par une méthode de quick-release. *Arch Int Physiol Biochim Biophys* 81, 697-707.
17. Grosset J.F., Mora I., Lambertz D., Pérot C. (2005) Age-related changes in twitch properties of plantar flexor muscles in prepubertal children. *Pediatr Res* 58, 966-970.
18. Grosset JF, Mora I, Lambertz D, Pérot C (2008) Voluntary activation of the triceps surae in prepubertal children. *J Electromyogr Kinesiol.* 18,455-465.

19. Guedes RC, Amâncio-Dos-Santos A, Manhães-De-Castro R, Costa-Cruz RR (2002) Citalopram has an antagonistic action on cortical spreading depression in well-nourished and early-malnourished adult rats. *Nutr Neurosci.* 5, 115-123.
20. Harrison AP, Tivey DR, Clausen T, Duchamp C, Dauncey MJ (1996) Role of thyroid hormones in early postnatal development of skeletal muscle and its implications for undernutrition. *Br J Nutr* 76, 841–855.
21. Huxley AF & Simmons RM (1971) Proposed mechanism of force generation in striated muscle. *Nature* 233, 533-538.
22. Ikai M, Fukunaga T (1986) Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int Z Angew Physiol.* 26, 26–32.
23. Lambertz D, Paiva MG, Marinho SMOC, Aragão RS, Barros KMFT, Manhães-de-Castro R, Khider N, Canon F (2008) A reproducibility study on musculotendinous stiffness quantification, using a new transportable ankle ergometer device. *J Biomech* (in press).
24. Lambertz D, Pérot C, Kaspranski R, Goubel F (2001) Effects of long-term spaceflight on mechanical properties of muscles in humans. *J Appl Physiol.* 90, 179-188.
25. Lambertz D., Grosset J.F., Mora I., Pérot C. (2003) Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. *J Appl Physiol* 95, 64-72.
26. Morgane, P.J.; Austin-Lafrance, R.; Bronzino, J.; Tonkiss, J.; Díaz-Cintra, S. Cintra, L.; Kemper, T.; Galler, J.R (1993) Prenatal malnutrition and development of the brain. *Neuroscience and Behavioral Reviews.* 17, 91-128.

-
27. Moritani MA, de Vries HE (1979) Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med Rehabil* 58, 115-130.
28. Oumi, M.; Miyoshi, M.; Yamamoto, T (2000) The ultrastructure of skeletal and smooth muscle in experimental protein malnutrition in rats fed a low protein diet. *Arch Histol Cytol* 63, 451-457.
29. Pousson M., Van Hoecke J., Goubel F. (1991) Changes in elastic characteristics of human muscle induced by eccentric exercise. *J Biomech* 23, 343-348.
30. Rice C.L., Cunningham D.A., Taylor A.W., Paterson D.H. (1988) Comparison of the histochemical and contractile properties of the human triceps surae. *Eur J Appl Physiol* 58, 165-170.
31. Toscano A.E., Manhães-de-Castro R., Canon F. (2008) Effect of a low-protein diet during pregnancy on skeletal muscle mechanical properties of offspring rats. *Nutrition* 24, 270-278.
32. WHO (2007). World Health Organization
http://www.who.int/growthref/hfa_girls_5_19years_z.pdf and
http://www.who.int/growthref/hfa_boys_5_19years_z.pdf.
- 33 Wilson, S.J.; Ross, J.J.; Harris, A.J. (1988) A critical period for formation of secondary myotubes defined by prenatal undernourishment in rats. *Development*, 102, 815-821.

Figures

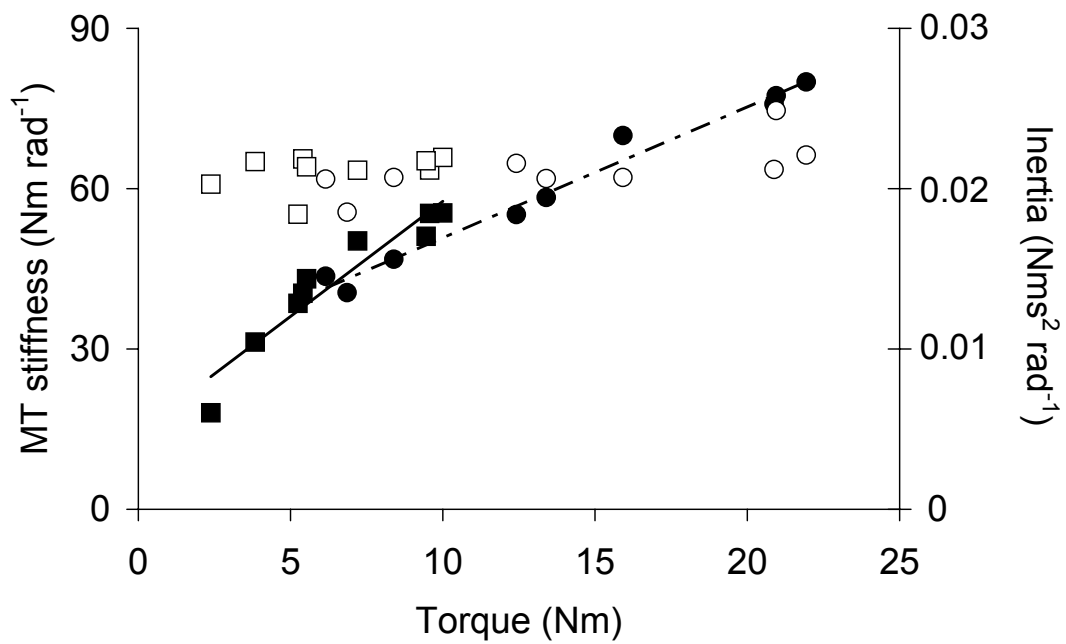


Figure 1 Musculotendinous (MT) stiffness – torque (dark symbols) and inertia – torque (white symbols) relationships for a child of the risk group (squares) and a child of the euthrophic group (circles). The slope of the stiffness – torque relationship is used as MT stiffness index (SI_{MT}).

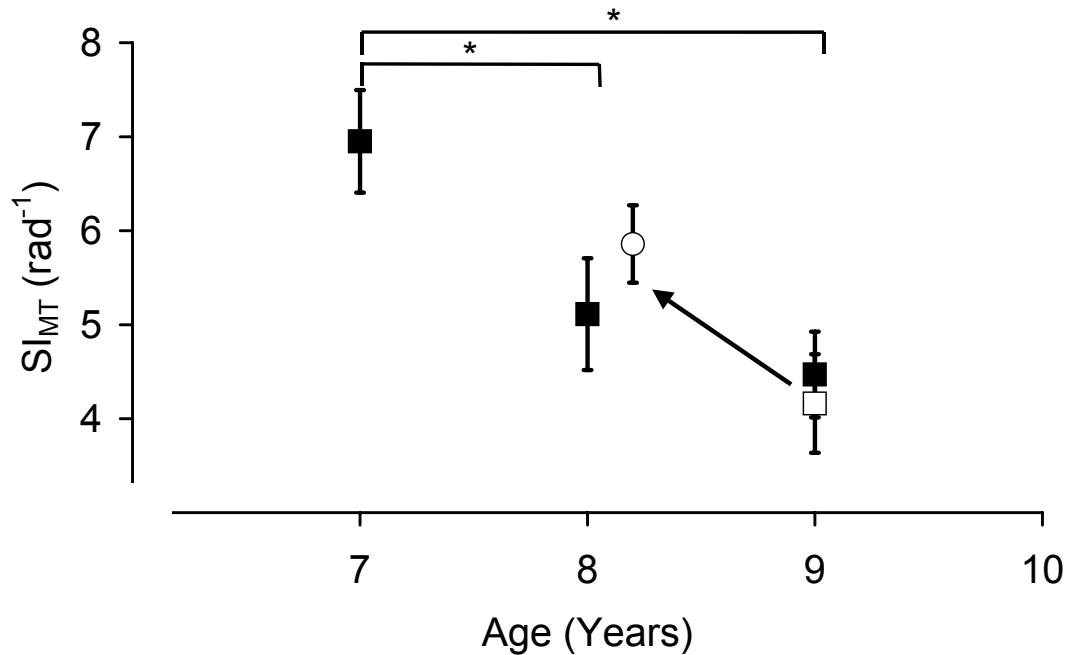


Figure 2 Musculotendinous stiffness index (SI_{MT}) – age relationship for prepubertal children from an urban city (black squares) and rural village (open symbols). Prepubertal children of the rural village were of the same age of 9 years for the euthrophic group (open square) and the risk nutritional group (open circle). The flash indicates the hypothesized delay in the maturation of the elastic properties for the risk nutritional group.

Tables

	Risk group	Euthrophic group	P value
Body mass (kg)	22.8 ± 0.6	27.5 ± 0.6	P < 0.001
Height (cm)	119.2 ± 0.4	130.3 ± 0.9	P < 0.001
Calf circumference (cm)	23.8 ± 0.4	25.7 ± 0.3	P = 0.01
Foot length (cm)	19.4 ± 0.3	20.5 ± 0.2	P = 0.006

Table 1 Anthropometric data of the risk group and the euthrophic group. P indicates the significance level of the difference between the two groups. Data are mean ± SE.

	Risk group	Euthrophic group	P value
MVC (Nm)	5.9 ± 0.4	8.7 ± 1.2	P = 0.05
MVC/Circumference (N)	22.8 ± 2.4	31.6 ± 3.3	P = 0.07
Pt (Nm)	1.8 ± 0.2	2.9 ± 0.3	P = 0.03
Pt/Circumference (N)	10.2 ± 2.4	11.8 ± 1.4	P = 0.53
CT (ms)	87.9 ± 4.4	88.0 ± 2.9	P = 0.94
HRT (ms)	91.1 ± 8.2	99.4 ± 4.5	P = 0.59
SI _{MT} (rad ⁻¹)	5.8 ± 0.4	4.2 ± 0.5	P = 0.008

Table 1 The mechanical properties of the risk group and the euthrophic group. Maximal voluntary contraction (MVC), twitch torque (Pt), contraction time (CT), half relaxation time (HRT) and musculotendinous stiffness index (SI_{MT}). P indicates the significance level of the difference between the two groups. Data are mean ± SEM.

ARTIGO 4

O quarto artigo é intitulado “Evaluation of motor abilities in prepubertal children with and without risk of early malnutrition”. Trata-se do artigo que apresenta respostas à segunda pergunta condutora da tese. Mostra os resultados da avaliação das habilidades motoras em pré-adolescentes da zona da mata de Pernambuco. Submetido à revista *Child Development*, classificada como Qualis A pela CAPES (ANEXO D).

Evaluation of motor abilities in prepubertal children with indicators of risk
to early malnutrition

Paiva MG ^{1,2}, Souza TOL ², Marinho SMOC ¹, Osório MM ¹, Manhães-de-Castro R ¹,
Lambertz D ¹, Barros KMFT ²

¹ Departamento de Nutrição – Universidade Federal de Pernambuco – Brazil

² Departamento de Fisioterapia – Universidade Federal de Pernambuco – Brazil

Running head: Evaluation of motor abilities in malnourished children

Correspondence and proofs:

Karla MFT Barros, PhD

Departamento de Nutrição-Universidade Federal de Pernambuco

Av Prof Moraes Rêgo, 1235-Cidade Universitaria

50670-901 Recife, PE

Tel. : 0055 81 88937703

e-mail : karla.tbarros@ufpe.br

Abstract

The objective of the present study was to quantify the motor performance in prepubertal school children with and without indicators of early risk malnutrition. Two groups were identified as risk group (20 children, mean age 110.9 months) and euthrophic (27 children, mean age 109.9 months). Motor performance was determined by the general motor age (GMA) and the general motor quotient (GMQ). The results indicated that GMA and GMQ were significantly lower in children with risk of malnutrition. This study showed that prepubertal children, exposed to early malnutrition, underwent alterations in the performance of motor abilities. Such an observation can be helpful in the establishment of interventions in order to prevent the evolution of harmful effects of early malnutrition along the life.

Introduction

During the development of the human being, adaptative responses occur from birth to adult life. Biological factors, as well as environmental, social and economic conditions can determine a delay in the development of neuropsychomotor abilities (Saccani et al., 2007). The motor abilities of the child evolve widely with age and become more and more complex and complete, interacting in the triad of physical – cognitive – motor development (Andraca et al., 1998; Rosa Neto, 2002).

Nutrition injuries during developmental time can lead to impairments in motor development, due to its negative repercussion in structural and functional evolution. Health and nutritional conditions of the maternal organism influence developmental processes in the offspring. In animals during prenatal life, malnutrition induced reduction in cross sectional area of the muscle (Bedi et al., 1982; Cavaliere et al., 1996) and had influences on the developmental process of mechanical properties in skeletal muscles (Toscano et al., 2008). This has been also showed when malnutrition was imposed during postnatal period on the development of mechanical and neurophysiological properties (Barros et al., 2004; Freitas-Silva et al., 2008). Furthermore, both experimental and human studies show that after birth, environmental factors seems to have also importance (Fawer et al., 1995; Andraca et al., 1998; Lizo et al., 1998) on the development of motor function (Lynch et al., 1975), reflex ontogeny (Barros et al., 2006) and locomotor patterns (Oliveira et al, 1997).

In humans, the first studies evaluated the effect of malnutrition on cognitive deficiency (Galler et al., 1985), low physical activity (Spurr & Riena, 1987) and mental behavior (Galler et al., 1987). Deficits in the fine motricity were also reported (Bénéfice, Fouére & Malina, 1999). Further evidence is given, that environmental

factors interfere with the motor development regarding the basic motor skills like walking, jumping, kicking and writing (Keogh, 1977). Morphological factors of the organism can also influence the way that children execute these basic movements (Oliveira et al., 1997).

The majority of the studies on malnutrition and infantile motricity is based on results of African countries (Bénéfice & Malina, 1996; Bénéfice, Fouéré & Malina, 1999), and Central (Kuklina et al., 2006) and North America (Malina et al., 1987; Peña-Reyes et al., 2003; Malina et al., 2004), so that a generalization of these results to Brazilian prepubertal children, with specific social risks, is questionable. Therefore, Rosa Neto (2002) developed the Motor Development Scale (MDS) for Brazilian prepubertal children. The author emphasizes that the motor tests of the MDS were selected from different proofed studies of other classical authors like Ozeretski (1936), Brunet & Lezine (1978), and Galifret-Granjon (1981). The MDS is a set of diversified proofs with gradually increasing difficult levels, allowing an exploration of different motor abilities. Within these perspectives, the MDS was used to investigate the motor abilities of prepubertal children in the Zona da Mata of the State of Pernambuco in the Northeast of Brazil. This region presents characteristics, since intense sugar cultivation is the predominant economic activity of this region: this is a seasonal-type work to the families, what leads to a quite regular nutritional deprivation in the infantile population.

Therefore, the aim of the present study was to quantify motor abilities of prepubertal school children in the Northeast of Brazil, with and without risk of early malnutrition.

Material and Methods

Subjects

47 prepubertal children of both gender, selected as a cross-sectional study from seven public schools in the City of Gameleira, (Pernambuco, Brazil) participated in this work. This region is characterized by offering low quality of life to its habitants. It has lack of basic sanitation, the mothers had great number of children, low level of education, and the children have a great number of hospital internments in the first years of life. These factors displayed further risk factors for growth and development of the infantile population.

The experimenter and parents or legal guardians of each child determined the pubertal status, based on parameters as breast development, pubic hair and no apparent changes in the voice and skin. The nutritional status was determined by means of the height-to-age index, as recommended by the World Health Organization (WHO, 2007). Thus, two groups were composed: a risk nutritional group (R) with 20 children (6 girls and 14 boys) and a euthrophic nutritional group (E) with 27 children (9 girls and 18 boys). The chronological mean age (CA) was 110.9 ± 0.9 months and 109.9 ± 0.7 months, respectively. The criteria of exclusion from the evaluation were the presence of neurological or orthopedic alterations, and/or sensory disturbances (visual or hearing), obvious during the evaluation.

The study was approved by the Committee of Ethics in Research of the Federal University of Pernambuco, according to the directions for research with human beings CNS 196 /96 (Process N° 015/2005). The legal guardians were fully instructed about the experimental procedure and signed a term of free and clarified consent. They were free to withdraw the child from the evaluation at any time.

Anthropometric data

Anthropometric data consisted in the evaluation of height, body mass and foot length. Height was measured by using a stadiometer with a precision of 1 mm, and body mass was measured by an electronic scale with a precision of 100 g. Foot length was measured with a rule of 1 mm precision. Height-to-age ratio was retained as an overall indicator of the nutritional status. Mean Z-scores were chosen as an indicator of past and current nutritional status. A Z-score of ≤ 2 was considered as risk nutritional status (WHO, 2007).

Experimental protocol

The Motor Development Scale was chosen due to its simplicity of application in the local conditions and the fact that it was already validated and standardized in healthy Brazilian children (Rosa Neto, 2002).

The MDS is composed of sequences of motor development tests in children, where each test has a different degree of difficulty. The tests were presented in the order of progressive increase of complexity, being the simplest task at the age of 2 years and the most complex task at the age of 11 years. In this work, the tests used included the age range from 7 to 11 years.

In the present study, the tests consisted in the quantification of fine motricity, global coordination and balance, as well as laterality of the hands and the feet. The procedures of the different tests with the corresponding CA of the task are described below:

Fine motricity: to make small balls of paper with one hand alone (7 years); to touch in maximum speed the fingers of the other hand with the tip of the thumb, without

repeating the sequence (8 years); to throw a ball of 6 cm in diameter in a target of 25 cm x 25 cm (9 years); to touch with the right thumb must be on the left finger index and the left thumb must be on the right finger index and then changing the sequence by rotating one thumb and finger index (10 years); to catch a ball of 6 cm in diameter, launched in 3 m distance, by one hand (11 years).

Global motricity: with open eyes, to jump on a foot along a distance of 5 m (7 years); to jump over a 40 cm high hurdle (8 years); to jump in the air and then touch the two heels with the hands (9 years); to move an object along 5 m with one foot (10 years); to jump on a chair (11 years).

Balance: to keep balance while squatting (7 years); to keep balance on the foot toe, with the trunk inflected (8 years); to “make a four using the legs”, by remaining on the left foot and with the plantar region of right foot to make an angle so that it touches the left leg, repeating the same with the right leg (9 years); to keep balance on the foot toe with closed eyes (10 years); to keep standing on one of the legs with closed eyes (11 years).

Laterality: for the eyes : spontaneous choice of left or right side, when a task is proposed., as to look-through a hole of 15 cm x 15 cm ; to make a telescope with a paper and to look-through it ; for the hands : to paint or to draw ; for the feet : to kick a ball.

Each test began with the task corresponding to the CA. When a task was successful for the corresponding CA, the following task with an advanced CA was proposed to the child. This was done, since a failure in the task was obtained. Then, the task corresponding to the previous CA was retained. For quantification, the positive result in the task received the value 1, partially positive 1/2 and failure 0. The values were quoted on an answer leaf for easy registering of the results.

After accomplishment of the evaluation tests, the answer leaf was analyzed in order to determine the motor age (MA), expressed in month. The motor age corresponded to the highest value of the evaluation, which was reached in each task of fine motricity (MA1), global coordination (MA2) and balance (MA3).

The general motor age (GMA), which determines the motor age of the child, was obtained by averaging the individual motor ages of the different tests as expressed by the formula :

$$GMA = \frac{MA1 + MA2 + MA3}{3} \quad (1)$$

Then, a general motor quotient (GMQ) was determined, to classify the general performance of the children, while it varied between high superior (130 points) and very inferior (≤ 69 points) (see table 2). It was calculated by dividing the GMA by the CA and expressed in percentage as expressed by the formula:

$$GMQ = \frac{GMA}{CA} \cdot 100 \quad (2)$$

Finally, the motor profile consisted of a graphical representation obtained in the motor tests, allowing a simple and fast comparison of some aspects of the motor development placing in evidence the strong and weak points of the children (see figure 1).

The differences between GMA and CA gave the positive age or the negative age, when the differences represented a positive value or a negative value, respectively. With this index, it is possible to know whether the children presented or not a delay in the acquisition of the motor abilities or to know whether GMA is equal, superior or inferior to the CA.

As for the laterality test, this was represented in completely right handed and left handed, crossed or undefined. To analyze the laterality test, a specific classification table was used (Rosa Neto, 2002), which is based on the frequency of all motor skills used by the hand, the eye and the foot.

Statistical analysis

For statistical analysis, the Mann-Whitney test was used, since some of the parameters were not normal distributed. Sigma Stat 32 statistical software was used. The level of significance was set to $P < 0.05$. Values are represented as mean $\pm$ SE.

Results

Anthropometric data

Table 1 summarizes the results of the anthropometric data. Statistical analyses indicated a significant difference in body mass ($P=0.001$) and height ($P=0.001$) between the children of R and E group.

Fine motricity, global coordination and balance

Table 2 summarizes the results of the motor scale obtained in R and E group, when the GMQ was considered. First, a significant difference in GMQ was found between R group (95.2 ± 1.3 %) and E group (102.6 ± 1.2 %). Second, it can be seen that both groups showed a high frequency in the normal middle level (R=80% and E=89%). Furthermore, the R group showed a frequency of 20% in the normal low level, whereas no normal low level was observed in the E group. Finally, no normal high level

was observed in the R group, whereas the E group showed a frequency of 11% in the normal high level.

The motor profile is shown in figure 1. This figure shows that the difference between R and E group was 11.7 months for fine motricity ($P = 0.001$), 0.9 months for the global coordination ($P = 0.8$) and 7.1 months for the balance ($P = 0.06$). Furthermore, a great difference was observed when comparing the motor ages of the tasks with the CA. It can be seen that the E group presented a significant higher fine motricity motor skill ($P = 0.008$) than expected for the CA. MA 1 was 10.1 months above the CA, whereas MA2 and MA3 were within the CA. R group showed fine motricity and global coordination within the range of the CA, whereas balance indicated a lower motor skill of 10.7 month between MA3 and the CA ($P = 0.02$).

Figure 2 represents the negative age and positive age in comparison between R and E group. It can be seen that R group showed a significant ($P = 0.04$) negative age of 5.4 months, whereas the E group showed a non-significant ($P = 0.07$) positive age of 2.9 months.

Laterality

Figure 3 shows the distribution of the laterality between R and E group. Results from E group are mostly distributed in complete right handed (48.2%) and crossed laterality (40.8%), being only 11.1% classified as undefined. The R group showed the same distribution for complete right handed (50%), but higher values of undefined (25%).

Discussion

The present study reports that early malnutrition lead to lower anthropometric values, notably with regard to statural growth and body mass. Such an influence of early malnutrition on body weight has been already reported in animal experiments, when considering early malnutrition both during the prenatal period (Toscano et al., 2008) or the postnatal period (Barros et al., 2004). In humans, Bénéfice, Fouére & Malina (1999) also reported lower body mass and statural growth for African children. Thus, in the same way, the results of Brazilian prepubertal children confirm this influence of early malnutrition on anthropometric data. Since the prepubertal children of the R group were already in school and received a supplementation in daily diet, they showed therefore a nutritional balance: there were no subjects with signs of acute malnutrition in our population. Such a long-term effect of early malnutrition has been already reported in the literature (Bénéfice, Fouére & Malina, 1999; Barros et al., 2003).

The risk for a delay in the motor development is associated with diverse factors, classified as biological, social and environmental. These additional risk factors increase the probability of an aggression, as malnutrition, to induce consequences on the infantile development (Sameroff et al., 1987; Weisel & Wasnik, 1990). Halpern et al. (2000) reported in their study that 34% of the children showed a delay in the neuropsychomotor development and these children also belonged to a less economically privileged class. In the region of this study, children belong to a less economically-privileged social class.

We also reported lower performance in the motor ability tests of fine motricity and balance. This was also observed notably regarding the parameters of motor age and the global motor performance of the children.

Concerning fine motricity, this motor ability showed the greatest differences between R and E group with a % change of -9.8 %. This parameter was also the most affected in the reports from Barros et al. (2003) in Brazilian children and Bénéfice, Fouère & Malina (1999) in African children. Other authors, who carried out longitudinal studies, also reported the effects of early malnutrition on fine motricity: Galler et al. (1985) reported similar results in 18-years old adolescents. In a study on the influence of kwashiorkor and marasmus, a different form of nutritional disease, fine motricity abilities in 15-years old adolescents are discussed (Galler et al., 1987). Guardiola et al. (2001) reported that the fine motricity was affected in the 7-years old children, who presented a low nutritional level. In the same way, Saccani et al. (2007) evaluated children between 1 to 6 years of life in the outskirts of a Brazilian city and observed that the percentage of children with developmental delay were higher in malnourished group in to fine motricity. In the present study, results showed also that fine motricity had the larger difference between nutritional groups: E group had a higher development fine motricity than the R group. Interestingly, E group was higher than CA expected values, and one can think about influences of environmental factors, like early school beginning, as well as spontaneous motor activity. Nevertheless, at the age where the evaluation was made, it seems that the influence of malnutrition was compensated, since MA was nearly the CA, but comparing with E group which was submitted to the same environmental factors, a delay in R group is highlighted.

Global coordination showed no statistical differences between R and E group, as seen in MA2 parameter. It can also be seen, that this parameter was within the range of the chronological age. Furthermore, these parameters were nearly the same in both groups. This is in accordance with those reported by Rosa Neto (1996), who tested 3 to

7 years old children, who were born with low weight, and did not reported any difference comparing to normal subjects in the time of testing. In another study, Catenassi et al. (2007) evaluated 4-6 years old boys and girls in order to verify any relationship between body mass index and global motor ability, but no difference was found.

With regard to the balance test, the present study reported a tendency of lower balance ability in MA3 parameter (-6.6 %) in R group. The evolution of this result is in according with the study from Guardiola et al. (2001), who carried out neurological examination in Brazilian school children with different nutritional status. They observed less static and dynamic balance in group with lower nutritional level. In the same way, Saccani et al. (2007) reported disturbances in relation to balance in preschool children (1 to 6 years old), who presented low nutritional status. Furthermore, it can be seen from figure 1, that MA3 parameter of the R group was significantly lower than the CA, with a % change of -9.6 %. This indicates that the balance test was one of the most affected motor ability tests of the malnourished children. Indeed, MA3 parameter of the E group was within the range of the CA.

It must be mentioned that the tests of global coordination and balance involve the mobilization of great muscle groups, like trunk muscles in association with upper and lower limbs. This means, that there is an interaction of the skeletal muscle system, nervous and sensory system. It can be argued that biomechanical properties can be different between R group and E group, what can influence the motor abilities. For example, the reduced size in body dimension can also influence the performance in terms of biomechanics, by modifying the lever of moment arms and as a consequence to affect motor development (Lackmann & Thelen, 1993). More precisely, it has been

proposed that differences in the foot length of prepubertal children can give information about differences in the tendon moment arm of the triceps surae muscle group (Lambertz et al., 2003). The present study reported lower foot length for the R group and it can be hypothesized that the tendon moment arm of the plantar flexor is smaller. Then for a given contractile force of the muscle, a lower torque about the ankle joint will be generated. Furthermore, it has been shown in animals that the postural Soleus muscle represents higher musculotendinous stiffness values due to early malnutrition during the prenatal period (Toscano et al., 2008). In humans, Paiva et al. (2008) reported recently preliminary results of biomechanical properties in prepubertal children with a risk of early malnutrition. These children presented an increased musculotendinous stiffness index when compared to euthrophic children. For instance, increased musculotendinous stiffness will favor the application of additional forces in order to counterbalance position instability. Coactivation of the anterior tibialis muscle can be a possible mechanism (Lambertz et al., 2003). Thus, the reduced MA in balance is not in accordance with the better control of position instability. This can be due to the global nature of the motor ability evaluation. Further neurophysiological studies, aiming to analyze the voluntary activation capacities are needful.

As for laterality, we reported that about a half of the prepubertal children of the R and E group had already an established laterality. Nevertheless, there were about 25% of the R group and 11% of the E group, who had no established laterality. According to the literature, Guillarme (1983) and Gallardon (1997) reported that laterality is already established at 6 or 7 years of age. In the present study, the lack of laterality predominance was about more than 50% in the R group compared to E group. Gallahue & Ozmun (2003) report that visual/manual/foot coordination is a

task, which presents a later maturation, and some automatic responses are so complex that they are slower in the beginning. It can be hypothesized that the R group had a slower time of maturation in this task, as a consequence of a delay in maturation.

Conclusion

The present study reported the repercussion of the nutritional status on the performance of motor abilities in prepubertal children with and without indicators of risk to early malnutrition. The present results demonstrated that the process of acquisition of motor abilities can be influenced by the nutritional environment.

Once the children in this study came from the similar environments, it seems that early malnutrition was the principal factor related to delay in the maturation of motor abilities. It is interesting to note that these children were not disabled, but presented a motor delay. It is important to highlight that motor function can be also a protective factor to developmental risks, so besides nutritional and health cares, an improvement in motor learning would be useful to prevent delays in motor development.

References

1. Andraca, I., Peno, P., Laparra A., Rivera, F., Castillo, M. (1998). Factores de riesgo para el desarrollo psicomotor em lactentes nascido em optimas condiciones biológicas. *Revista de Saúde Pública*, 32, 134-147.
2. Barros, K.M.F.T., Fragoso, A.G.C., Oliveira, A.L.B., Cabral-Filho, P. I., Manhães-de-Castro, R. (2003). Do environmental influences alter motor abilities acquisition? *Arquivos Neuropsiquiatria*, 6, 170-175.
3. Barros, K.M.F.T., Canon, F., Freitas-Silva, S.R., Manhães-de-Castro, R., Goubel, F. (2004). Neonatal malnutrition effects on contractile and elastic properties on rat soleus muscle. *Archives of Physiology and Biochemistry*, Suppl112, 154.
4. Barros, K.M.F.T., Manhães-de-Castro, R., Lopes-de-Souza S., Matos R.J., Deiró, T. C., Cabral-Filho P.I., Canon, F. (2006) . A regional model (Northeastern Brazil) of induced malnutrition delay ontogeny of reflex and locomotor activity in rats. *Nutritional Neuroscience*, 9, 999-1004.
5. Bedi, K.S., Birsgalis, A.R., Mahon, M., Smart, J.L., Wareham, A.C. (1982). Early life undernutrition in rats. Quantitative histology of skeletal muscle from underfed young and refeed adult animals. *British Journal of Nutrition*, 47: 417.
6. Benefice, E., Malina, R.M. (1996). Body size, body composition and motor performances of mild-to-moderately undernourished Senegalese children. *Annals of Human Biology*, 23(4), 307-321.

7. Bénéfice, E., Fouère, T., Malina, R.M. (1999). Early nutritional history and motor performance of Senegalese children, 4-6 years of age. *Annals of Humans Biology*, 26,443-445.
8. Brunet, O., Lezine, I. (1978). *El desarrollo psicológico de la primera infancia*. Madrid : Visor libras.
9. Cavaliere, M.J., De Angelis, R.C., Macha, N., Campos, J.V. (1996). Impaired differentiation of skeletal muscle fiber in developing undernourished rats. *Boletim de Fisiologia Animal da Universidade de São Paulo*, 10, 69-78.
10. Fawer, C.L., Besnier, S., Forcada, M., Buclin, T., Calama, A. (1995). Influence of perinatal developmental and environmental factors on cognitive abilities of preterm children without major impairment at 5 years. *Early Human Development*., 43, 151-164.
11. Freitas-Silva, S.R., Manhães-de-Castro, R., Pérot, C. (2008). Is the maturation of monosynaptic stretch reflex in rats affected by neonatal malnutrition? *Nutritional Neuroscience*. 11, 207-212.
12. Gallahue, D.C., Ozmun, J. (2003). *Compreendendo o desenvolvimento motor*. Editora 2ª ed, Phonte: São Paulo.
13. Galifret-Granjon, N. (1981). *Naissance et évolution de la representation chez l'enfant*. Presses Universitaires de France :Paris.
14. Gallardo, J.S.P. (1997). *Educação Física: contribuição à formação profissional*. 2ed. Ijuí: Unijuí.

-
15. Galler, J., Ramsey, F., Solimano, G. (1985). A follow-up study of the effects of early malnutrition on subsequent development. II Fine motor skills in adolescence. *Pediatrics Research*, 19, 524-527.
16. Galler, J.R., Ramsey, F.C., Salt, P. Archer, E. (1987). Long-term effects of early kwashiorkor compared with marasmus. III Fine motor skills. *Pediatric Gastroenterology Nutrition*, 6, 855-859.
17. Guardioli, A., Egewarth, C., Rotta, N.T. (2001). Avaliação do desenvolvimento neuropsicomotor em escolares da primeira série e sua relação com o estado nutricional. *Jornal de Pediatria* (Rio de Janeiro), 77, 189-196.
18. Guillarme, J.J. (1983). *Educação e Reeducação Psicomotora*. Artmed :Porto Alegre.
19. Halpern, R., Giugliani, E.R.J., Victora, C.G., Barros, F.C., Horta, B.L. (2000). Fatores de risco para suspeita no atraso do desenvolvimento neuropsicomotor aos 12 meses de vida. *Jornal de Peditria* (Rio de Janeiro), 7, 421-428.
20. Keogh, J.E. (1977). The study of movement skill development. *Quest*, Champaign, 52, 331-332.
21. Kuklina, E.V., Ramakrishnan, U., Stein, D., Barnhart, H.H., Martorelli, R. (2006). Early childhood growth and development in rural Guatemala. *Early Human Development*, 82, 425-433.
22. Lackman, J., Thelen, E. (1993). Developmental biodynamics: brain, body, and behavior connections. *Child Development*, 64, 953-959.

23. Lambertz D., Mora, I., Grosset, J.P., Pérot, C. (2001). Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. *Journal of Applied Physiology*, 95, 64-72.
24. Lizo, C.L.P., Azevedo-Lizo, Z., Aronson, E., Segre, C.A.M.(1998). Relação entre ganho de peso materno e peso do recém-nascido. *Jornal de Pediatria*, 74,114-118.
25. Lynch, G., Smart, J.L., Dobbing, J. (1975). Motor coordination and cerebellar size in adults rats undernourished in early life. *Brain Research*, 83, 249-259.
26. Malina, R.M., Brown, K.W.,Zavaleta, A.N. (1987). Relative lower extremity length in Mexican American and in American Black and white youth. *American Journal of Physical Anthropology*, 72, 89-94.
27. Malina, R.M., Peña- Reyes, M.E., Tan, S.K., Bushang, P.H., Little, B.B., Koziel, S. (2004). Secular change height, sitting height and leg length in rural Oaxaca, southern Mexico : 1968-200 *Annals of Human Biology*, 31, 615-633.
28. Oliveira, J.A., Silveira, V., Manoel, E.J. (1997). Variações na preensão e formas de karremessar à distância em função das restrições da tarefa: tamanho da bola. *IN : Congresso Científico de Educação Física e Esporte do Norte e Nordeste*, 2 , João Pessoa: Anais, 73-74.
29. Ozeretski , N.(1936). Echelle métrique du développement de la motricité chez l' enfant et l'adolescent. *Hygiène Mental* : Paris.
30. Paiva, M.G, Marinho, S.M.O.C., Amaral, P.R.A.G., Canon, F., Barros, K.M.F.T., Manhães-de-Castro, R., Pérot, C., Lambertz, D. (2008). Mechanical properties of the

plantar flexor muscles in malnourished prepubertal children. *Comp Meth Biomech Biomed Eng* 11, Suppl 1, 179-180.

31. Peña-Reyes, M.E., Tan, S.K., Malina, R.M.(2003). Urban-rural contrasts in the physical fitness of school children in Oaxaca, Mexico. *American Journal Human Biology*, 15, 800-813.

32. Rosa Neto, F. (2002). *Manual de Avaliação Motora*. Artmed :Porto Alegre.

33. Rosa Neto F ; Wink, D. (2006). Perfil motor de Pré-escolares matriculados no ensino regular da cidade de Luís Eduardo Magalhães-Bahia. *Revista Iberoamerican de Psicomotricidade y Tecnicas Corporales*, Espanha, 6, 35-42.

34. Sacconi, R., Brizola, E., Giordani, A.P., Bach, S., Resende, T.L., Almeida, C.S. (2007). Avaliação do desenvolvimento neuropsicomotor em crianças de um bairro da periferia de Porto Alegre. *Scientia Medica*, Porto Alegre, 17, 130-137.

35. Sameroff, A., Seifer, R., Barocas, R., Zax, M.(1987). Intelligence quotient scores of 4 years old children: social emotional risk factors. *Pediatrics*, 79, 343-450.

36. Spurr, G.B., Reina, J.C. (1987). Marginal malnutrition in school-aged Colombian girls: dietary intervention and daily energy expenditure. *Human Nutrition Clinical Nutrition*, 41C, 93-104.

37. Toscano, A.E., Manhães-de-Castro, R., Canon, F. (2008). Effect of a low protein diet during pregnancy on skeletal muscle mechanical properties of offspring rats. *Nutrition*, 24, 270-278.

38. Weisels, J.S., Wasnik, B.A (1990). Who should be served? Identifying children in need of early intervention. IN: Meisels JS, Shonkoff, J. *Handbook of early intervention*. Cambridge: Cambridge University Press, 605-632.

39. WHO (2007). World Health Organization http://www.who.int/growthref/hfa_girls_5_19years_z.pdf and http://www.who.int/growthref/hfa_boys_5_19years_z.pdf.

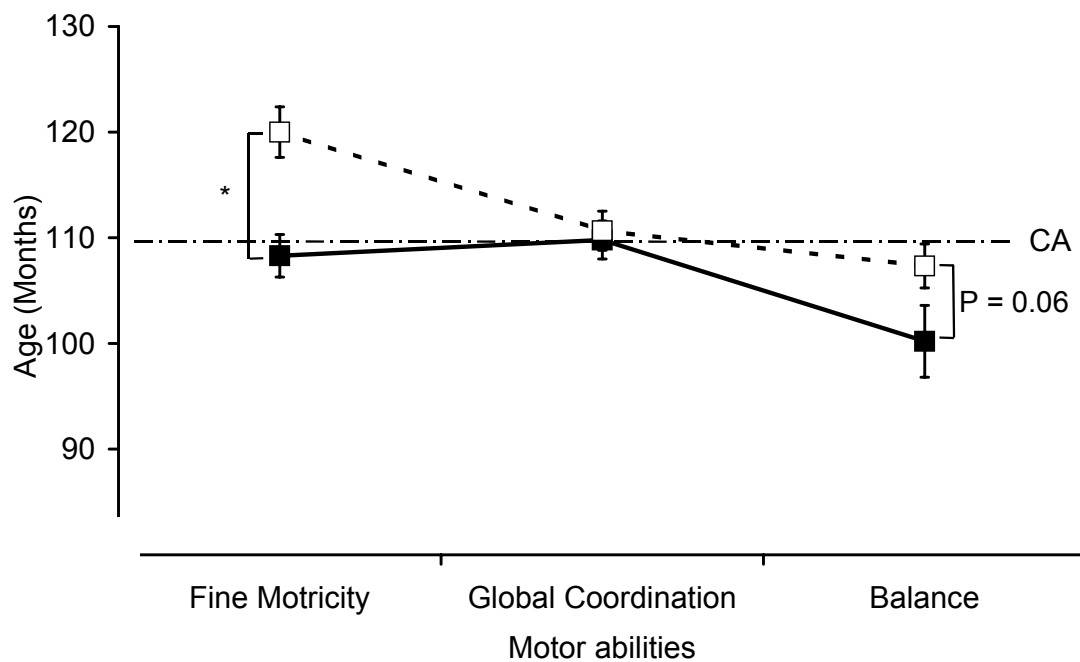
Tables

	Risk group		Euthrophic group
Body mass (kg)	22.0 ± 2.3	*	27.8 ± 3.1
Height (cm)	119.6 ± 2.2	*	130.6±1.9
Foot length (cm)	19.4 ± 0.3	*	20.5 ± 0.2

Table 1. Anthropometric data of the prepubertal children of different groups. * indicate significant difference at $P < 0.05$. Data are mean ± SE.

Motor Scale	Risk group	Euthrophic group
Most Superior (>130)	0	0
Superior (120-129)	0	0
Height Normal (110-119)	0	11% (n = 3)
Middle Normal (90-109)	80% (n = 16)	89% (n = 24)
Low Normal (80-89)	20% (n = 4)	0
Inferior (70-79)	0	0
Most Inferior (<69)	0	0
TOTAL	100% (n = 20)	100% (n = 27)

Table 2 Motor Development Scale of Rosa Neto (2002), by using the General Motor Quotient for each group.



Figures

Figure 1. Representation of the motor abilities of the risk group (■, full line) and the euthrophic group (□, dashed line), considering the motor ages of each motricity test (fine motricity, global coordination and balance). CA indicates the mean chronological age of the two groups. * indicates significant differences at $P < 0.05$. Data are mean $\pm$ SE.

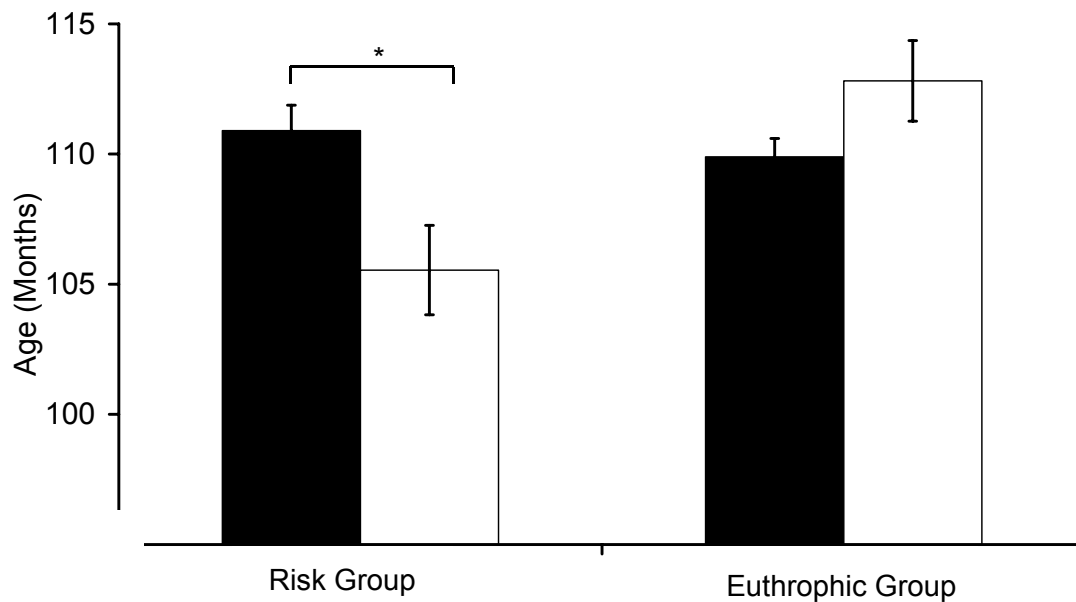


Figure 2. Representation of the Chronological Age (■) and General Motor Age (□), where the difference indicate the positive age or negative age. It can be seen that the risk group exhibited a negative age and the euthrophic group exhibited a positive age. * indicates significant differences at $P < 0.05$. Data are mean $\pm$ SE.

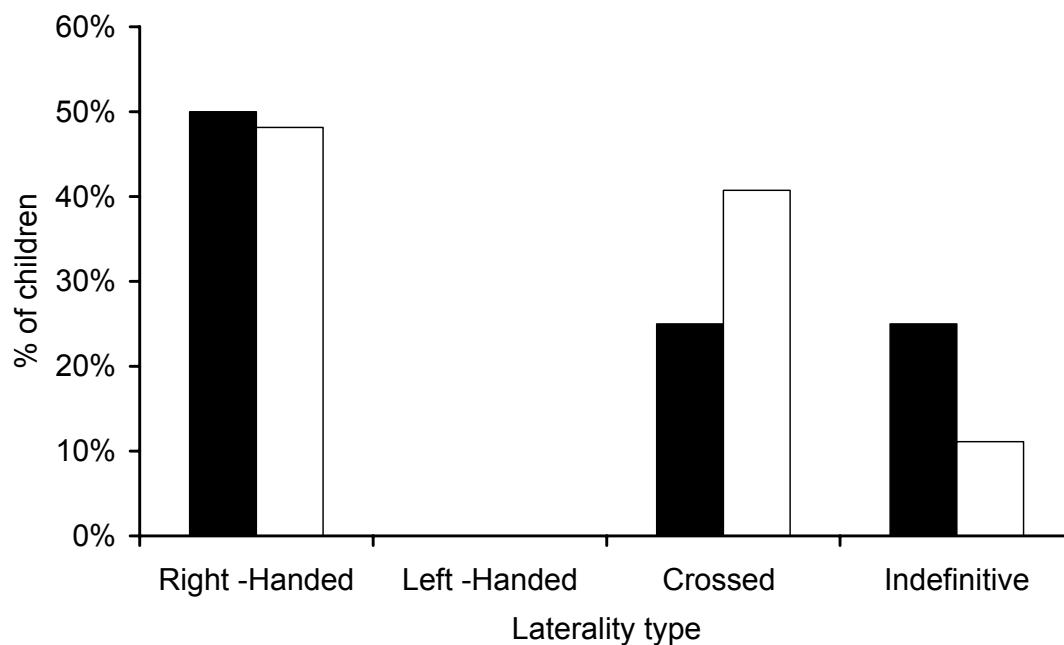


Figure 3 Representation of the laterality type for the risk group (■) and the euthrophic group (□). It can be seen, that about 25 % of the tested children of the risk group represented an undefined laterality.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram discutidos alguns aspectos de como a desnutrição precoce pode repercutir sobre a biomecânica muscular e na aquisição de habilidades motoras. Após a análise dos resultados, podemos ao final deste estudo apontar algumas conclusões.

Na avaliação das propriedades mecânicas da musculatura esquelética, o grupo de risco apresentou alterações quanto às propriedades contráteis e elásticas do músculo. A redução no diâmetro muscular constatada nesse grupo pode justificar a menor produção de força muscular, podendo estar associado à desnutrição precoce. Quanto às propriedades elásticas, observou-se diferença de ativação do complexo músculo-tendinoso, sugerindo que a co-contração dos músculos antagonistas pela influência da desnutrição no processo de maturação das frações ativa e passiva do complexo músculo-tendinoso.

Quando se compara os dados relativos às habilidades motoras em relação ao estado nutricional, podemos concluir que, o grupo de risco teve desempenho inferior em relação aos eutróficos, sobretudo nas habilidades envolvendo motricidade fina e equilíbrio. É importante ressaltar que as diferenças de desempenho aconteceram principalmente nas tarefas que envolveram maior capacidade cognitiva e naquelas que solicitaram a sustentação do peso corporal. Isso faz pensar num provável atraso inicial das aquisições motoras, que tenha coincidido com o período de desnutrição precoce.

Os achados indicam a possível vulnerabilidade causada pela desnutrição precoce: o atraso no desenvolvimento neuropsicomotor das crianças que faziam parte do grupo de risco corrobora com o atraso na maturação muscular observada nessas mesmas crianças. Provavelmente a ocorrência de atraso na maturação das características contráteis e elásticas do músculo esquelético poderia interferir negativamente sobre a ação muscular e, conseqüentemente, sobre o desenvolvimento de uma ação motora, atrasando o processo de aquisição de habilidade motora.

Embora a desnutrição infantil tenha se reduzido expressivamente no País e no nordeste, há ainda crianças que sofrem suas conseqüências tardias, como observado na Zona da Mata de Pernambuco. Os efeitos deletérios causados pela desnutrição precoce

podem ser refletidos no comportamento muscular e atividade neuromecânica em crianças, assim como na aquisição das habilidades motoras. Tais habilidades são bastante solicitadas nas atividades de vida diária, escolar e lazer durante a infância e adolescência, períodos nos quais se requer o desenvolvimento de habilidades motoras cada vez mais específicas, e que futuramente poderão influenciar no desempenho e rendimento econômico quando essa população estiver inserida no mercado de trabalho.

Diante das conclusões anteriormente expostas, podemos tecer algumas considerações finais:

⇒ A nutrição durante período crítico de desenvolvimento do sistema muscular parece afetar as propriedades mecânicas do músculo.

⇒ Corroborando a hipótese da influência fenotípica, a função do músculo e a atividade motora podem ser afetadas pela desnutrição precoce a recuperação nutricional por si apenas pode não ser reverter este efeito indesejado, sobretudo se os indivíduos já se encontrarem numa fase mais tardia do desenvolvimento motor, por exemplo quando atingem a idade escolar.

⇒ Os efeitos da desnutrição sobre o músculo podem ser mensurados através dos testes das suas propriedades contráteis e elásticas.

É interessante saber como o sistema muscular esquelético desses indivíduos respondem às aquisições de habilidades motoras essa é uma das mais instigantes perspectivas desse trabalho.

Espera-se que o presente estudo incentive novas pesquisas relacionadas aos efeitos da desnutrição sobre a biomecânica muscular e habilidades motoras e possa contribuir para o aprofundamento das questões relacionadas ao desenvolvimento motor de crianças expostas a insultos nutricionais.

Existe a perspectiva em futuros trabalhos de continuar a investigação para buscar resposta a alguns questionamentos:

⇒ Que futuras investigações analisem a inter-relação de fatores, sabendo-se que a análise biomecânica juntamente com avaliação motora foi importantes ferramentas para detectar alterações quantitativas e qualitativas na performance motora.

⇒ as repercussões na aquisição das habilidades motoras, indicam a possível vulnerabilidade a atraso no desenvolvimento neuropsicomotor dos indivíduos submetidos às agressões nutricionais durante o período precoce de desenvolvimento.

⇒ a influência dos diferentes estímulos pode alterar o desenvolvimento motor causando uma dissociação entre a fase do desenvolvimento motor e a faixa etária.

⇒ É importante destacar que os resultados encontrados neste estudo e os já apontados pela literatura, não defendem ou fundamentam a estereotipação de criança com risco nutricional como inabilidosa

REFERÊNCIAS

- 1 Allaf , O; Goubel, F. The rat suspension model is also a good tool for inducing muscle hyperactivity. Pflügers Archives, 437: 504-507, 1999.
- 2 Allaf , O; Goubel, F; Marini, JF. A curve-fitting procedure to explain changes in muscle force-velocity relationship induced by hyperactivity. Jornal of Biomechanics, 35: 797-802, 2002.
- 3 Almeida- Silveira, MI; Lambertz, d; Pérot, C; Goubel, F. Changes in stiffness induced by hindlimb suspension in rat Achilles tendon. European Journal of Physiology, 81: 252-257, 2000.
- 4 | Anderson, JE. The satellite cell as a companion in skeletal muscle plasticity: currency conveyance clue, connector and colander. The Journal of Experimental Biology, 209: 2276-2292, 2006.
- 5 Andrade, A; Luft, CB; Rolim, MKSB. O desenvolvimento motor , a maturação das áreas corticais e a atenção na aprendizagem motora. Revista.. Digital - Buenos Aires- año 10, 78, Nov. , 2004 (<http://www.efedesportes.com>)
- 6 Arora, NS; Rochester, DF. Respiratory muscle strength and maximal voluntary ventilation in undernourished patients. American Review. Respiratory Disease , 126:5-8, 1982.
- 7 Baldwin, KM; Haddad, F. Plasticity in skeletal, cardiac and smooth muscle. Invited Review: Effects of different activity and inactivity paradigms on myosin heavy chain gene expression in striated muscle. Journal Applied Physiology, 90: 345-51, 2001.
- 8 Barker, DJ.; Osmond C; Golding, J; Khu, D; Wadsworth, ME. Growth in utero, blood pressure in childhood and adult life, and mortality from cardiovascular disease. Bristsh Journal Medicine, 298 (3): 564- 267, 1989.
- 9 Barker, DJP. In utero programming of chronic disease. Clinical Science, 95:115-128, 1998.
- 10 Barker, D. J., J. G. Eriksson, *et al.* Fetal origins of adult disease: strength of effects and biological basis. International Journal of Epidemiology, 31 (6): 1235-9, 2002
- 11 Barreto-Medeiros, JM; Feitoza, ZG; Lima , KM; Cabral-JE; Castro, FMM; Castro, CMMB; Manhães-de-Castro, R. Malnutrition during brain growth spurt alters the effect of fluoxetine on aggressive behavior in adults rats. Nutrition Neuroscience, (USA), 7: 49-52, 2004.
- 12 Barros, KMFT; Canon, F.; Freitas-Silva, SR; Manhães-de-Castro, R.; Goubel, F.

- Neonatal malnutrition: affects on contractile and elastic properties on rat soleus muscle. Archives of Physiology and Biochemistry, 112 (3): 154, 2004.
- 13 Barros, KFMT; Fragoso, ACG; Oliveira, ALB; Filho, JEC; Manhães-de-Castro, R. Do enviromental influences alter motor abilities acquisition? Arquivos de Neuropsiquiatria (São Paulo), 61 (2-A): 1 – 18, 2003.
- 14 Barros, KMFT; Manhães-de-Castro, R.; Souza, SL; Matos RJ; Deiró, TCBJ; Cabral-Filho, JE; Canon, F. A regional model (Northeastern Brazil) of induced malnutrition delay ontogeny of reflexes and locomotor in rats. Nutrition Neuroscience, 9(1-2): 99-104, 2006.
- 15 Batista-Filho, M. Alimentação e Nutrição no Nordeste semi-árido do Brasil. Situação atual e perspectivas. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 12(3): 411-15,1996.
- 16 Bedi, KS; Birzaglis, AR; Smart, JL; Wareham, A. C.eartly life undernutrition in rats. Quantitative histology of skeletal muscle from unfed and adult animals. British Journal of Nutrition, 47:417-430, 1982.
- 17 Bénéfice E.; Fouère, T.; Malina, RM. Early nutritional history and motor performance of Senegalese children 4-6 years of age. Annals of Human Biology, 26: 443-45, 1999.
- 18 Bénéfice, E. Motor skills of malnourished compared with normal preschool Senegalese children. Early Child Development and Care, 61: 81- 91, 1990.
- 19 Bertram, JEA; Marsh, RL, Inroduction to the Syposium: Muscle Properties and Organismal Function: Shifting Paradigms. American Zoologist, 38 (4) 697-702, 1998.
- 20 Bissonette, DJ, Madapllimatam, A.; Jeejeebhoy, K.N. Effect of hypoenergetic feeding and high carbohydrate refeeding on muscle tetanic tension, relation rate and fatigue in slow-and-fast twitch muscle in rats. American Journal of Clinical Nutrition; 26(2): 293-303, 1997.
- 21 Blimkie, CJR, Age and see-associated variation in strength during childhood: anthropometric, morphologic, neurologic, genetic and physical activity correlates. Prospectus Science and Sports Medicine, 2: 99-163,1989.
- 22 Borba, JM; Araújo , MS; Picanço- Diniz, CW; Manhães-de-Castro, R; Guedes, RC. Related articles and transitions morphometric changes of NAPH diaphoreses containing neurons in the rat visual cortex after early malnutrition. Brain Research

- Bulletin, 53 (2): 193-201,2000.
- 23 Boreham, CAG; Watt, PW; William, PE; Merrey, BJ; Goldspink, DF. Effects of ageing and chronic dietary restriction on the morphology of fast and slow muscles of rats. Journal of Anatomy, 157:111-125, 1988.
- Botinelli, R; Reggiani, C. Human skeletal muscle fibers: molecular and functional diversity. Progress in Biophysics & Molecular Biology, 73:195-262, 2000.
- 24 Brunet, O; Lezine, I. El desarrollo psicológico de la primera infância. Madrid: Visor libros, 1978.
- 25 Busner, O; Araya, M; Espinosa, J; *et al.* Chronic enviromental entheropaty in a temperature climate . Human Nutrion and Clinical Nutrion, 41C :251-261, 1990.
- 26 Caetano MJD; Silveira, CRA; Gobbi, LTB. Desenvolvimento motor de pré-escolares no intervalo de 13 meses. Revista Brasileira de Cineantropometria e Desenvolvimento Humano, 7(2): 05-13, 2005.
- 27 Caiozzzo, WJ; Baker, MJ; Baldwin, KM. Novel transition in MHC isoforms: separate and combined effects of thyroid hormone and mechanical unloading. Journal Applied of Physiology, 85(6): 2237-48, 1998.
- 28 Caldwell, JE. Tendon: elasticity and relative length: effects on the Hill two component muscle model. Journal of Applied Biochemistry, 11: 1-24, 1995.
- 29 Canon, F; Goubel, F. Changes in stiffness induced by hindlimb suspension in rat soleus muscle. Pflügers Archives European Journal of Physiology, 429: 332-337, 1995.
- 30 Canon, F; Goubel, F; Guezennec, Cy. Effects of chronic low frequency stimulation on contractile and elastics properties of hinlimb suspended rat soleus muscle. European Journal Apllied Physiology, 77: 118-124, 1998.
- 31 Cavaliere, MJ; De Angelis, RC; Mecha, N; Campos, JV. Imapaire differentiation of skeletal muscle fiber in developing undernourished rats. Boletim de Fisiologia Animal- Universidade de São Paulo, 10: 65-78, 1996.
- 32 Clark, JE; Whithall, J. What is motor development? Quest, 41, 183-202, 1989.
- 33 Clark, JE. Motor development Encyclopedia of Human Behavior. San Diego: Academia Press. 3: 245-255, 1994.
- 34 Close,RI. Dynamic properties of mammalian skeletal muscle. Physiology Review, 52: 129-97,1972.
- 35 Connoly, K. Perspective on motor development. In: Wade, M.G; Whiting, H.T. A

- (Eds.). Motor development in children: aspects of coordination and control. Dordrecht: Martinus Nijhof, p. 3-32, 1986.
- 37 Connolly, K. Desenvolvimento Motor: Passado, Presente e Futuro. Revista Paulista de Educação Física, supl.3:16-15, 2000.
- 38 Cook, CS; McDonagh, MJ. Force responses to constant- velocity shortening of electrically stimulated human muscle-tendon complex. Journal Applied of Physiology, 81: 384-392, 1996.
- 39 Cornu, C; Goubel, F. Musculotendinous and joint elastic characteristics during elbow flexion in children. Clinical Biomechanics (Bristol, Avon): 16 (9): 758-64, 2001.
- 40 Curless, RG; Nilson, MB. Development patterns of rat muscles histochemistry. Journal of Embriology Experimental Morphology, 36: 355-363, 1976.
- 41 Daly, RM. The relationship between muscle size and bone geometry during growth and in response to exercise. Bone, 3: 281-7, 2004.
- 42 Dastur, DK; Gagrath, BH; Manghani, DK. Fine structure of muscle in human disuse atrophy significance of proximal muscle involvement. Neuropsychiatric Applied Neurobiology, 5: 85-101, 1979.
- 43 Davison, An; Dobbing, J. The developing brain. Contemporary Neurology Research, 4(5): 253-86, 1968.
- 44 Desai, M; Crowther, Nj; Lucas, A; Hales, CN. Organ-selective growth in the offsprings of protein- restricted mothers. British Journal of Nutrition, 76: 591-603, 2005.
- 45 Delp, MD; Duan, C. Composition and size of type I, IIA, IID/X and IIB fibers and citrate synthase activity of rat muscle. Journal Applied of Physiology, 80: 261-270, 1996.
- 46 Dobbing, J. Undernutrition and the developing brain. American Journal of Disease in Children, 120(1): 411-15, 1970.
- 47 Dudley, GA; Meyer, RA; Belew, AH; Buchanan P. Adaptation to unilateral lower limb suspension in humans. Aviation Space Environment. Medicine, 63: 678-683, 1992.
- 48 Edgerton, VR; Smith, JL; Simpson, DR. Muscle fiber type population of human leg muscles. Journal of Histochemistry, 7: 259-266, 1975.
- 49 Edgerton, VR, Roy, RR. Neuromuscular adaptations to spaceflight. In: Handbook

Referências

- of Physiology Environmental Physic Bethesda, MD: Am Phys. Soc, 4 (32): 721-763, 1986.
- 50 Edman, KA. Fatigue vs. shortening-induced deactivation in striated muscle. Acta Physiology Scandinavian, 156:183, 1996.
- 51 Elder, GC; Kakulas, BA. Histochemical and contractile property changing during human muscle development. Muscle Nerve, 16 (11): 1246-53, 1993.
- 52 Erim, Z; Beg, MF; Burke, DT; de Luca, CJ. Effect of aging on motor unit control properties. J Neurophys, 82: 2081-91, 1999.
- 53 Ettema, GJ; Huijing, PA. Properties of the tendinous structures and serves elastic component of EDL muscle-tendon complex of the rat. J Biomech, 22 (11-12): 1209-15, 1989.
- 54 Faro, AMMA. A especificidade da força muscular nos movimentos desportivos: um estudo em ginástica. Coimbra, 1995. 162p (Tese de doutorado) – Universidade de Coimbra, 1995.
- 55 Ferro-Luzzi, A. Work capacity and productivity in long-term adaptation to low energy intakes. In: Nutricional adaptation man edited by Blaxter K & Waterlow JC. John Libbery, Paris: 61-68, 1987.
- 56 Flück, M; Hoppeler, H. Molecular basis of skeletal muscle plasticity-from gene to form and function. Review of Physiology Biochemistry and Pharmacology, 159-216, 2003.
- 57 Fonseca, O. Da filogênese à ontogênese da motricidade. Porto Alegre: Artes Médicas, 1988, 309 p.
- 58 Forsdahl, A. Are poor living conditions in childhood and adolescence an important risk factor for arteriosclerotic heart disease? British Journal Preventive Social Medicine, 31: 91-95, 1977.
- 59 Fox, EL; Bowers, RW; Foss, ML. The physiological basis for exercise and sport. Madison: Brow Benchmark, cap 5: 94-135, 1993.
- 60 Freire, JB. Educação de corpo inteiro: teoria e prática da Educação Física. São Paulo: Scipione, 1989.
- 61 Fuchs, CZ; Zaichkowsky, LD. Motor behavior research: current deveopments. In: LD Zaichkowsky, e CZ Fuchs (EDs). The Physiology of Motor Behavior: Development, control, learning and performance (3-12). Ithia, New York. Movement Publication Inc, 1986.
- 62 Gallifret- Granjon, N. Naissance et evolution de la representation chez l' enfant.

- Presses Universitaires de France, Paris, 1981.
- 63 Gallahue, DL. Understanding motor development: infants, children adolescents. Indianápolis: Benchmark Press Inc, 1989.
- 64 Gallahue, D.; Ozmun, J. Compreendendo o desenvolvimento motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos, São Paulo: Phorte ed., 641 p, 2003.
- 65 Gans, C. Fiber architecture and muscle function. Exercise and Sports Science Review, 160-207, 1982.
- 66 Goldspink, G; Scutt, A; Loughhna, PT; Wells, DJ; Jeanicke, T; Gerlach, GF. Gene expression in skeletal muscle in response to stretch and force generation. American Journal of Physiology Regulatory Intergrate Comp Physiology, 262: 356-363, 1992.
- 67 Goldspink, G. Selective gene expression during adaptation of muscle in response to different physiological demands. Comp. Biochemistry Physiology and Biochemistry Molecular Biology, 120:5-15,1998.
- 68 Gomes, ARS; Coutinho, FL, França , CN; Polonio, J; Salvini, TF. Effect of the stretch a week applied to the imobilized soleus muscle fiber morphology. Brazilian Journal Medicine Biological Research, 37: 1473-1480, 2004.
- 69 Goodman, MN; McElency, MA; Ruderma, NB. Adaptation to prolonged starvation in the rat: curtailment of skeletal muscle proteolysis. American Journal of Physiology, 241: 321-327, 1981.
- 70 Goss, R.J. The strategy on growth. In: Goss, R.J.(ed). The physiology of the growth. New York: Academy Press, 1-8, 1978.
- 71 Granthan-Mcgregor, S.; Schofield, W.; Powell, C. Development of severely malnourished children who received psychosocial stimulation: six-year follow up. Pediatrics, 79(2): 247-254, 1987.
- 72 Grosset, JF; Mora, I; Lambertz, D; Pérot, C. Twitch contraction properties of triceps surae muscle in prepubertal children. Archives of Physiology and Biomechanic, 112: 115- 118, 2004
- 73 Grambergen A; Westerga, J. Locomotor development in undernourished rats. Behavior Brain Research, 48:57-64, 1992
- 74 Guardiola, A; Egewarth, C; Rotta, NT. Avaliação do desenvolvimento neuropsicomotor em escolares de primeira série e sua relação com o estado nutricional. Jornal de Pediatria (Rio de Janeiro), 77: 189-96,2001.

Referências

- 75 Guedes, DP; Guedes, JERP. Crescimento, composição corporal e desempenho motor de crianças e adolescentes. 2. ed. São Paulo: Balliero, 1997
- 76 Guerra, S. Assessment of children's and adolescent's physical activity levels. European Physical Education Review, 9: 75-85, 2002.
- 77 Hales, CN; Barker, DJP. The thrifty phenotype hypothesis. British Medicine Bulletin, 60:5-20, 1992.
- 78 Hales, CN; Ozanne, SE. The dangerous road of catch up growth. Journal of Physiology, 547 (1): 5-10, 2003
- 79 Hales, ICN; Barker, DJ; Clark, PM.; Cox, LJ; Fall, C; Osmond, C; Winter, PD. Fetal and infant growth and impaired glucose tolerance at age. British Medicine Journal, 303 (6809):1019-22, 1991.
- 80 Halpern, R; Shaefer, ES; Pereira, AS; Arnt, EM; Bezerra, JPV; Pinto, LS. Fatores de risco para baixo peso ao nascer em uma comunidade rural do Sul do Brasil. Jornal de Peditria (Rio de Janeiro), 6(27): 369-73, 1996.
- 81 Haltia, M; Berlin, O; Schucht, H; Sourander, P. Postnatal differentiation and growth of skeletal muscle fibers in normal and undernourished rats. A histochemical and morphometric study. Journal of Neurological Science, 36 (1): 25-39, 1978.
- 82 Handerson, SE; Sugden, DA. Movement assessment battery for children. Manual Psychologica Corporation, London, 1992.
- 83 Hawke, TJ, Garry, DJ. Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. Journal of Applied Physiology, 91 (6): 534-551, 2001.
- 84 Haywood, KM; Getchell, N. Desenvolvimento motor ao longo da vida. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- 85 Heckman, CJ; Enoka, RM. Physiology of the motor neuron and the motor unit. In: Handbook of Clinical Neurophysiology, 4: 119-147, 2003.
- 86 Hill, AV. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. Proceeding Royal Society Biology, 126: 242-254, 1938.
- 87 Hill, AV. First and last experiments in muscle mechanism. Cambridge. University Press, Cambridge, 140p., 1970.
- 88 Huijing, PA. Elastic potential of muscle. In: Komi, PV. ed. Strength and power in sport. Oxford: Blackwell Scientific, 1992.
- 89 Howells, KF; Matheus, DR; Jordan, TC. Effects of pre and postnatal malnutrition

- on muscles fibers from fast and slow rat muscles. Research Experimental Medicine, 173: 35-40, 1978.
- 90 Hoy, MG.; Zajac, FE; Gordon, ME. A musculoskeletal model of the human lower extremity: the effect of muscle, tendon and moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee and ankle. Journal of Biomechanics, 23 (2): 157-69, 1990.
- 91 Huxley AF; Simmons, RM. Proposed mechanism of force generation in striated muscle. Nature, 233: 533-38, 1971.
- 92 Ivanovic, DM; Olivares, MG; Castro, CG; Ivanovic, RM. Nutrition and learning in chilean school children. Chile Metropolitan Regeneration Survey Nutrition, 12, 1996.
- 93 Jongmans, M.; Mercuri, E.; Henderson, S; De Vrees, L; Sonksen, P; Dubowitz, L. Visual function of prematurely born children with and without perceptual-motor difficulties. Early Human Development, 45 (1): 73-82, 1996.
- 94 Jordán, JR. El lactente de 0 a 2 años: antropometria y crecimiento. In: Crecimiento y desarrollo: hechos e tendências, Washington, DC, EUA, Organizacion Panamericana de la Salud. p. 185-209, 1988.
- 95 Kadi, F; Eriksson A; Holmner, S; Thornell, LE. Effects of anabolic steroids on the muscle cells of strength –trained athletes. Medicine Science Sports Exercise, 31(11): 1528-34, 1999.
- 96 Kenny-Mobbs, T; Myogenic differentiation in early chick wing mesenchyme in the absence of the brachial somites. Journal of Embriology and Experimental Morphology, 90: 415-436, 1985.
- 97 Kim, PL; Staron, RS; Phillips, SM. Fasted-state skeletal muscle protein synthesis after resistance exercise is altered with training. Journal of Physiology, 568: 283-90, 2005.
- 98 Komi, PV. The muscoskeletal system. In: The Olympic book of Sports Medicine. A Dirix J G Knuttgen and K Titles (eds). Blackwell Scientific Publications, Oxford: 15-39, 1988.
- 99 Kugelberg, E. Adaptative transformation of rat soleus units during growth. Journal of Neurological Science, 27 (3): 269-89, 1976.
- 100 Lackman, JJ; Thelen, E. Developmental biodynamics: brain, body behavior connections. Child Development, 64: 953-959, 1993.

- 101 Lambertz, D; Pérot, C; Kapranski, R; Goubel, F. Effects of long-term spaceflight on mechanical properties of muscles in humans. Journal of Applied Physiology, 90: 179-188, 2001.
- 102 Lampreia, C. A prevenção no atraso do desenvolvimento: a prevenção na psicologia. Ciência e Profissão, 5 (1): 25-30, 1985.
- 103 Law, C. Is blood pressure inversely related to birth weight? The strength of evidence from a systematic review of literature. Journal of Hypertension, 14 (8): 935-942, 1996.
- 104 Lewell, J; Downham, D. What is the effect of ageing on type 2 muscle fibers? Journal of Neurological Science, 107: 250-251, 1992.
- 105 Lieber, RL; Spasticity causes a fundamental rearrangement of muscle-joint interaction. Muscle & Nerve, 25(2): 265-70, 2002.
- 106 Lima, TM; Osório, MM. Perfil e fatores associados ao aleitamento materno em crianças menores de 25 meses na região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil, (Recife), 3 (3): 305-314, 2003.
- 107 Lira, PIC; Lima, MC; Silva, GAP; Romani, SAM; Eickmann, SH; Alessio, MLM; Batista-Filho, M. *et al.* Saúde e nutrição de crianças de áreas urbanas da Zona da Mata Meridional de Pernambuco: resultados preliminares de um estudo de coorte. Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil, 3 (4): 463-472, 2003.
- 108 Loughna, PT; Izumos, Goldpink, G; Nadal-Gernard, B. Disuse and passive stretch cause rapid alterations in expression of development and adult contractile protein genes in skeletal muscle. Development, 109: 217-223, 1990.
- 109 Lucas, A., M. S. Fewtrell *et al.* Fetal origins of adult disease-the hypothesis revisited. British Medicine Journal, 319 (7204): 245-9, 1999.
- 110 Lynch, G; Smart, JL; Dobbing, J. Motor coordination and cerebellar size in adult rat undernourished in early life. Brain Research, 83: 249-259, 1978.
- 111 Macelfield, VG; Häger-Ross, C; Johansson, RS. Control of grip force during recontact of an object held between finger and thumb: responses of cutaneous afferents from the digits. Experimental Brain Research, 108 (1): 2509-2519, 1996.
- 112 Magalhães, LC; Catarina, PW; Barbosa, VM *et al.* Estudo comparativo sobre o desempenho perceptual e motor na idade escolar em crianças nascidas pré-termo e a termo. Arquivos de Neuropsiquiatria, 61 (2A): 250-255, 2003.
- 113 Malina, RM; Bouchard, C. Growth, maturation and physical activity. 1st

- Ed.Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2001.
- 114 Malina, R; Bouchard, C. Atividade física do atleta jovem: do crescimento à maturação. São Paulo: Roca, 2002.
- 115 Manoel, EJ. O padrão fundamental frente a duas tarefas: seleção pré-longitudinal da seqüência. Revista Brasileira de Ciência do Esporte, 6: 36,1984.
- 116 Manoel,EJ. Desenvolvimento motor: padrões em mudanças, complexidade crescente. Revista Paulista de Educação Física , supl. 3: 35-54, 2000.
- 117 Marcondes, E.; Machado, DVM; Setian, N; Carazza, FR. Crescimento e Desenvolvimento. *IN: Pediatría Básica*, v.1, 1ª parte, 8ª ed: 35-63, 1999.
- 118 Marcondes E. Desnutrição. São Paulo: Sarvier, 1976.
- 119 Marcondes,E. Desenvolvimento da criança. Desenvolvimento biológico. Crescimento. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Pediatría, 1994.
- 119 Marinho, SMOC; Silva, AETM; Afonso, LB; Neves, PRA; Viana, MT; Moraes, SRA; Manhães-de-Castro, R. Malnutrition neonatal reduces neurons of myoenteric plexus of descending in adult rats. Neurobiologia, 68: 138-143, 2004.
- 120 Martell, M; Gaveria, J; Belitzki, R. Nueva forma de evaluacion del crecimiento postnatal hasta los dos años de vida. Boletim de la Oficina Sanitária Panamericana, 86(2), febrero, 1979.
- 121 McCall, GE; Byrnes, WC; Dickinson, A; Pattany, PM; Fleck, SJ. Muscle fiber hyperthrophy, hyperplasia and capillary density in college men after resistance training. Journal Applied Physiology, 81:204- 208 , 1996.
- 122 McHugh,MP *et al.* Viscoelastic stress relaxation in human skeletal muscle. Medicine Science Sports Exercise, 24: 1375, 1992.
- 123 MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS) Secretaria de Políticas de Saúde da Criança. Acompanhamento do Crescimento e Desenvolvimento Infantil. Série Cadernos de Atenção Básica: n. 11 Série A . Normas e Manuais Técnicos, n.173. Brasília- DF, 2002.
- 124 Miranda, LP; Resegal, R; Figueiras, A . A criança e o adolescente com problemas do desenvolvimento no ambulatório de Pediatría. Jornal de Pediatría (Rio de Janeiro), 79 (1): 33-42, 2003.
- 125 Monteiro, CA. O panorama da nutrição infantil nos anos 90. Brasília - DF. UNICEF; Cadernos de Políticas Sociais, 1996.
- 126 Morgane, PJ; Miller, M; Kemper, T; Stern, W; Forbes, W; Hall, R; Bronzino, J *et*

- al.* The effects of protein malnutrition on the developing. Central Nervous System in the rat. Neuroscience and Biohevarol Review, 2:137-230, 1978
- 127 Morgane, P. J., R. Austin-Lafrance, *et al.* Prenatal malnutrition and development of the brain. Neuroscience Biobehavarol Review, 17 (1): 91-128, 1993.
- Morey, ER. Spaceflight and bone turnover correlation with a new rat model of weightlessness. Bioscience, 29: 168-172, 1979.
- 128 Nagy, ZM ; Porada, KJ ; Anderson, JA. Undernutrition by rearing in large litters delay the development of reflexive, locomotor and memory process in mice. Journal of Physiology., 91 : 682-696, 1977.
- 129 Negrine, A. Educação psicomotora: a lateralidade e a orientação espacial. Porto Alegre: Palloti, 1986.
- 130 Newell, KM. Change in motor learning a coordination and control perspective. Motriz, 9 (1): 1-6, 2003.
- 131
- Noback, C. R.; Eisenman. L. M. Some effects of protein-calorie undernutrition on the developing central nervous system of the rat. Anatomy Research, v.201, n.1, Sep, p.67-73. 1981.
- 132 Noble, EG; Rice, CL; Thayer, ER; Thaylor, AW. Envolving Concepts on skeletal muscle fibers. Medicine Sports Science, Karger, 46:36-61,2004.
- 133 Nordin, M; Frenkel, V. Basic Biomechanics of the musculosketal system. 2.ed., London: Lea & Febiger, 1980.
- 134 Nyholm, B; Qu Z; Kaal A ; Pederson, SB; Grauholt, CH; Andersen, JL; Saltin B; Schimitz, O. Evidence of an increased number of type IIb muscle fiber insulin-resistant first- degree relatives of patient with NIDDM. Diabetes, 45 (11): 1822-1828, 1997.
- 135 Oberbach, A; Bossenz , Y; Lehmann, S; Niebauer, J; Adams, V; Paschke, R, *et al* Altered fiber distribution and fiber-specifi glycolytic and oxidative enzyme activity in skeletal muscle of patients with type 2 diabetes. Diabetes Care,29(4): 895- 900, 2006.
- 136 Oliveira, SLC. Desnutrição energética intrauterine em ratos: alterações musculares na primeira e segunda gerações. Jornal de Pediatria, 75 (5): 350-356, 1999.
- 137 Ozanne, S. E.; Hales, CN. The long-term consequences of intra-uterine protein malnutrition for glucose metabolism. Proceeding Nutrition Society, 58 (3): 615-9,

- 1999.
- 138 Ozeretzki, N. Echelle métrique du development de la motricité chez l'enfant et l'adolescent. Paris: Higiene Mentale, 1936.
- 139 Paixão, D; Maciel, CR; Telles, MB; Figueredo- Silva, J. Regional brazilian diet induced low birth weight in correlated with changes in renal hemodynamics and glomerular morphometry in adult age. Biology Neonatal, 80 (3): 239-246, 2001.
- 140 Pappalia, DE; Olds, SW. Desenvolvimento Humano. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- 141 Paula, CS. Atraso no desenvolvimento mental e motor em crianças de creches de comunidade urbana de baixa renda e fatores de risco associados. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de São Paulo, 2001.
- 142 Pette, D; Staron, RS. Mammalian skeletal muscle fiber type transitions. Internal Review Cytology, 170: 143-223, 1997.
- 143 Pette, D; Staron, RS. Myosin isoforms, muscle fibers types and transition. Acta Physiologica Scandinavia, 50: 5000-9, 2000.
- 144 Pette, D. Training effects on the contractile apparatus. Acta Physiology, 90 (3): 119-24, 2001.
- 145 Pette, D. Training effects on the contractile apparatus. Acta Physiology Scandinavian, 162 (3): 367-376, 1998.
- 146 Pillegaard, H; Ordway, GA; Saltin, B; Nerifer, PD. Transcriptional regulation of gene expression in human skeletal muscles during recovery from exercise. American Journal of Physiology Endocrinological Metabolism, 279 (4): E 806-14, 2000.
- 147 Pisöt , R; Kersevan, K; Djordjevic, S; Medved, V; Završnik, J; Simunic, B. Differentiation of skeletal muscle in 9-year-old children. Kinesiology, 36(1): 90-97, 2000.
- 148 Platinga, Y; Perdoc, KJ; Groot, I. Hand function in low-risk preterm infants: its relation to muscle power regulation. Development Medicine Child Neurological, 36: 6-11, 1997.
- 149 Popkin, BM; Richards, MK; Monteiro, CA. Stunting is associated with overweight in children of four nations that are undergoing the nutrition transition. Journal of Nutrition, 126 (12): 3009-3016, 1996.
- 150 Rauch, F.; Schoneau, E. The developing bone: slave or master of its cells and

- molecules. Pediatric Research, 50: 309-14, 2001.
- 151 Resnick, R; Brink, GW; Wilkes, M. Catecholamine mediated reduction in uterine blood flow after nicotine infusion in the pregnant. Journal of Clinical Investigation, June, 63(6): 1133-36, 1979.
- 152 Reyes, MB; Valdecanes, CM; Reyes, TM. The effects of malnutrition on the motor, perceptual and cognitive function of Filipino Children. International Disabilities Study, 12 (4): 131-6, 1990.
- 153 Resnick, O., M. Miller, *et al.* Developmental protein malnutrition: influences on the central nervous system of the rat. Neuroscience Biohevariol Review, v.3, n.4, Winter, p.233-46. 1979.
- 154 Rissin, A. Desnutrição em crianças menores de cinco anos no Estado de Pernambuco: uma análise de relações causais hierarquizadas (tese de Doutorado) Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- 155 Robertson, MA. Developmental sequence and developmental task analysis. IN: J.S. Skinner, CB; Corbin, DM; Landers, Pennsylvania: Martin, CL. Well (EDs), 1989.
- 156 Rosa Neto, F. Manual de Avaliação Motora. Porto Alegre: ArtMed: 2002.
- 157 Ross, G; Lipper, EG; Auld, PA. Social competence and behavior problems in premature children at school age. Pediatrics, 86: 391-397, 1991.
- 158 Rubinstein, N; Kelly, AM. Myogenic and neurogenic contributions the development of fast and slow twitch muscle in rats. Development Biology, 62: 473-83, 1978.
- 159 Saccani, R; Brizola, E; Giordani, AP; Bach, S; Resend, TL; Almeida, CS. Avaliação do desenvolvimento neuropsicomotor em crianças de um bairro da periferia de Porto Alegre. Science Medicine (Porto Alegre), 17 (3): 130-137, 2007.
- 160 Santos, S; Dantas, L; Oliveira, JA. Desenvolvimento motor de crianças, de idosos e de pessoas com transtornos de coordenação. Revista Paulista de Educação Física São Paulo, 18: 33-40, 2004.
- 161 Santos-Medeiros, J. Desnutrição, estimulação ambiental e desenvolvimento do sistema nervoso: um estudo eletrofisiológico. Dissertação (Mestrado). Recife. Universidade Federal de Pernambuco, 1995.
- 162 Sawaya, AL; Martins, PA; Grillo, Lp; Florencio, TT. Long-term effects of early malnutrition on body weight regulation. Nutrition Review, 62: 127-33, 2005.
- 163 Schamalbruch, H. Skeletal muscle, handbook of microscopic anatomy. A Okslsch.

- F.L. Verlag, Berlim:Volbra (Ed). Springer-Verlag , 1985.
- 164 Schiaffino, S; Reggiani, C. Molecular diversity of myofibrillar proteins: gene regulation and functional significance. Physiology Review, 76(2): 371-423, 1996.
- 165 Scott, W; Stevens, J; Binder-Macleod. Human skeletal muscle fiber type classifications. Physical Therapy, 81(11): 1810-6, 2001.
- 166 Seale, P; Rudnicki, MA. A new look at the origin, function and “stem-cell” status of muscle satellite cells. Developmental Biology, 218 (2): 115-124, 2000.
- 167 Seger, J; Thorstensson, A. Muscle strength an eletromiogram in bys and girls followed throught puberty. European Journal Applied Physiol, 81: 54-61, 1994.
- 168 Silva, HJ. Manipulação neonatal e da recaptção de serotonina em ratos: 1-estabelecimento de protocolo para estudos murinométricos e validação.2-Reprecussões sobre a morfolofia e a morfometria das túnicas musculares do esôfago e sobre o consumo alimentar. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco. CCS. Nutrição, 2006.
- 169 Smart, JL; Dobbing, J. Increased thirst and hunger in adult rats undernourished as infant: an alternative explanation. British J of Nutrition, 37: 421-430, 1977.
- 170 Smith DW; Truog, W; Rogers, JE; Greitzer, LJ; Skeinner AL; McCann, JJ; Harvey, MAS. Shifting linear growth during infancy: illustration of genetic factors in growth from fetal life through infancy. Journal of Peditrics 89(2): 225-30, 1976.
- 171 Smith, DW. Growth and its disorders. [SI]: WB Saunders Company, 1977.
- 172 Smits-Engelsmann, BCM; Westenberg, Y; Duysens, J. Development of isometric force control in children. Cognitive Brain Research, 17 (1): 68- 74, 2003.
- 173 Spurr, GB; Reina, JC. Marginal malnutrition in school-aged Colobian girls: dietary intervention and daily energy expenditure. Human Nutrtrion Clinical Nutrition, 41C, 93-104,1987.
- 174 Staron, RS. Human skeletal muscle fiber types: delineation, development and distribution. Cannadian Journal Applied Physiology, 22 (4): 307-27, 1997.
- 175 Staron, RS. Correlation between myofibrillas ATPase activity and myosin heavy chain composition in single human muscle fibers. Histochemistry and Cell Biology, 96 (1): 21-24, 1991.
- 176 Staron, RS; Kraemer, WJ; Hikida, RS; Fry, AC; Murray, JD; Campos, GE. Fiber type composition of four hindlimb muscles of adult Fisher 344 rats. Histochemistry Cell Biology, 111 (2): 117-23, 1998.

- 177 Tanner, JM. Growth regulation and genetics of growth. Progress Clinical Biology Research, 200:19-32, 1985.
- 178 Tanner, JM. Foetus into man: physical growth from conception to maturity. Revised and enlarged edition. Cambridge, Massachussets: Harvard University Press, 1990.
- 179 Thakur,A; Sharma, S; Rani, R. Assessment mental and motor development of infants in Hamipur District of Himachal Pradesh. Anthropology, 6 (2): 147-50, 2004.
- 180 Thomas, CK; Ross, BH; Stein, RB. Force-frequency relationship of human thenar motor units. Journal of Neurology, 65: 1509-1516, 1991.
- 181 Tognella, F; Mainar, A; Vanhoutte, C; Goubel, F. A mechanical device for studying mechanical properties of human muscles in vivo. Journal of Biomechanics, 30: 1077-1080, 1997.
- 182 Toscano, AE; Manhães-de Castro, R; Canon, F. Effect of low-protein diet during pregnancy on skeletal muscle mechanical properties of offsprings rats. Nutrition, 24: 270-278, 2008.
- 183 Venojarvi, M; Pulke, R; Hämäinentt, J, Rastas, M; Rusko, H *et al.* Role of skeletal muscle fiber type in regulation of glucose metabolism in middle-age subjects with impaired glucose tolerance during long-term exercise and dietary intervention. Diabetes Obesity Metabolism, 7 (6): 745-54, 2005.
- 184 Vogler, C; Bove, KE. Morphology of skeletal muscle in children. Archives of Pathology and Laboratory Medicine, 109: 238-42, 1985.
- 185 Vrbova, G; Navarrete, R; Lowrie, M. Matching of muscle properties and motoneurone firing patterns during early of development. Journal of Experimental Biology, 115 (1): 113- 23, 1985.
- 186 Ward, SS; Stickland, NC. The effect of undernutrition in the early postnatal period on skeletal muscle tissue. British Journal Nutrition, 69: 141-50, 1991.
- 187 Whitall, J; Getchell, J. From walking to running: aplying a dynamical system approach to the development of locomotor skills. Child Development. 66: 1541-1553, 1995.
- 188 Wilson, SJ; Ross, JJ; Harris, AJ. A critical period for formation of secondary myotubes defined by prenatal undernourishment in rats. Development, 102: 815-821,1988.

-
- 189 Wilson, GDA *et al.* A biomechanical analysis of the jump and three modified plyometric depth jumps. Journal of Strength and Conditioning Research, 10 (2): 83-88, 1996.
- 190 Winter, DA. Biomechanics of human movement. New York: John Wiley, 1979: 108-26, 1979.
- 191 World Health Organization (WHO). Physical Status: the use and interpretation of anthropometry. WHO Technical Report Series 854, Geneva: WHO, 1995.
- 192 World Health Organization (WHO). Disponível em: http://www.who.int/growth/hfa_girls-who, 2007. http://www.who.int/growth/hfa_boys-who, 2007.
- 193 Widdowson, EM; Mc Cance RA. Some effects of accelerating growth I. General somatic Development. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, v.152, 947, may, 1960.
- 194 Zajack, F.E. muscle and tendon: properties models, scaling and application to biomechanics and motor control. *In*: JR BOURNE (ED.), CRC. Critical Reviews in Biomedical Engineering, 17:359-411, 1989.
- 195 Zee, M; Voight, M. Moment dependency of the series elastic stiffness in the human plantarflexors measured in vivo. Journal of Biomechanics, 34: 1399-1406, 2001.

ANEXOS

6 – ANEXOS

- Parecer do Comitê de Ética (Anexo A)
- Proof do artigo 1 (Anexo B)
- Documentação do artigo 2 (Anexo C)
- Documentação do artigo 4 (Anexo D)
- Protocolo de avaliação Biomecânica (Anexo E)
- Protocolo de Avaliação das Habilidades Motoras (Anexo F)
- Produção Científica (Anexo G)

ANEXO A - Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
Comitê de Ética em Pesquisa

Of. N.º 010/2005-CEP/CCS

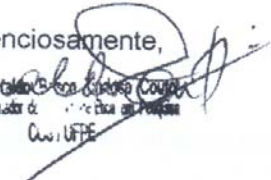
Recife, 02 de fevereiro de 2005.

Ref. Protocolo de Pesquisa n.º 015/2005-CEP/CCS**Título** "Desnutrição precoce: eventuais repercussões sobre o desenvolvimento do sistema locomotor em crianças de uma Comunidade Rural do Estado de Pernambuco."

Senhor (a) Pesquisador (a):

Informamos que o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco CEP/CCS/UFPE registrou e analisou, de acordo com a Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, o protocolo de pesquisa em epígrafe aprovando-o e liberando-o para início da coleta de dados em 02 de fevereiro de 2005, com recomendação de retirar a frase "não há risco"; Citar a Res.CONEP quanto aos riscos.

Ressaltamos que ao pesquisador responsável deverá apresentar relatório, em 30 / 09 / 2005.

Atenciosamente,

Paulo Roberto de Almeida
Coordenador de Ética em Pesquisa
UFPE

Ao
Prof. Raul Manhães de Castro
Dep. de Nutrição - CCS/UFPE

ANEXO B – Documentação do Artigo 1

and here the editor descision of the reproducibility article

> From: JBM@elsevier.com
> To: daniel.lambertz@hotmail.com
> Date: Mon, 1 Sep 2008 13:40:20 +0100
> Subject: BM-D-08-00158R2 - Editor Decision
>
> Ref.: Ms. No. BM-D-08-00158R2
> A reproducibility study on musculetendinous stiffness quantification, using a new transportable ankle ergometer device
> Journal of Biomechanics
>
> Dear Dr Lambertz,
>
> Thank you for your careful response to the review comments. After considering the reviews from our referee panel, I am pleased to tell you that your nice paper is acceptable in the Journal of Biomechanics.
>
> Your paper will be forwarded to Elsevier Science Ltd in England, and will make a nice contribution to our literature. I suspect you will receive your galley proofs within a few months. Proofs are now sent to authors electronically, and instructions will appear on viewing and correcting. Please be advised that manuscripts are published in order of receipt of galley proofs, not in order of acceptance. Therefore, your earliest return of galley proofs will insure the most rapid publication. If you have not received your galleys within 6 months, please contact our office.
>
> As you know, all submissions and review for Journal of Biomechanics are now performed using the new Elsevier Editorial System (EES), our new web-based manuscript submission and tracking system. To submit a future manuscript online, please log on to the EES website at: <http://ees.elsevier.com/BM/>
>
> We are also excited to inform you that the latest Impact Factor for the Journal of Biomechanics has significantly increased to 2.897, placing the journal as 6th in the specialty of Biomedical Engineering. We appreciate your interest in the Journal of Biomechanics and look forward to publishing the continuing results of your research. We also thank you for your contributions to the review process and hope that you will continue to serve as a referee for the journal when asked upon. If you have any questions, please contact me.
>
> Yours sincerely,
>
> Farshid Guilak, Ph.D.
> Editor-in-Chief
> Journal of Biomechanics
>
>
>
> If you have any queries regarding publication of your accepted manuscript please contact Hannah Forder at h.forder@elsevier.com
>
> Access to information and services for authors is now available online at the Author Gateway from Elsevier Science (<http://www.elsevier.com/authors>).
>
> Please note that the Publishers will provide a reference number on receipt of your accepted manuscript. This will enable you to track the progress of your manuscript.

ANEXO C – Documentação do Artigo 2

[RBFis] Agradecimento pela submissão

De:

SECRETARIA GERAL

(rbfisio-seer@ufscar.br)

Enviada:

sexta-feira, 29 de agosto de

2008 9:03:46

Para:

Karla MFT Barros

(karla_monica@hotmail.com)

Karla MFT Barros,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "Mechanical properties of prepubertal children in the Northeast of Brazil: A validation study"

para

Revista Brasileira de Fisioterapia/Brazilian Journal of Physical Therapy.

Por meio da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://www.rbf.ufscar.br/index.php/rbfisio/author/submission/588>

Login: kbarros

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir

ao público seu trabalho.

SECRETARIA GERAL

Revista Brasileira de Fisioterapia/Brazilian Journal of Physical Therapy

--KMFT Barros,

Thank you for the submission of your manuscript "Mechanical properties of prepubertal children in the Northeast of Brazil: A validation study" to the Revista Brasileira de Fisioterapia/Brazilian Journal of Physical Therapy. You can oversee your manuscript, and you will be notified as soon as the peer-review process is complete. In the interim, you may check on the status of this manuscript by selecting the "Check Manuscript Status" link under the following URL:

URL do Manuscrito:

<http://www.rbf.ufscar.br/index.php/rbfisio/author/submission/588>

Login: kbarros

If you have some questions, please contact us using this e-mail.

Thank you again for submitting your manuscript to Revista Brasileira de Fisioterapia/Brazilian Journal of Physical Therapy

SECRETARIA GERAL

Revista Brasileira de Fisioterapia/Brazilian Journal of Physical Therapy

Revista Brasileira de Fisioterapia/
Brazilian Journal of Physical Therapy
<http://www.ufscar.br/rbfisio>

ANEXO D- Documentação do Artigo 4

Submission 2008-4623:

Evaluation of motor abilities in prepubertal children with indicators of risk to early malnutrition

Your submission is complete and ready for review!

Thank you for submitting your manuscript via the new online Child Development site. As you know, the site has begun operation as of January 1, 2005. Undoubtedly we will be discovering some kinks in the system and we hope that you will be understanding as we continue to improve it.

ANEXO E - _ PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA

PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO

NOME:

ENDEREÇO:

IDADE:

GÊNERO: Feminino ☐Masculino ☐

ALTURA :

PESO:

DOMINÂNCIA: Direita ☐Esquerda ☐Ambidestra ☐

REGISTROS ANTROPOMÉTRICOS

REGISTROS ANTROPOMÉTRICOS

MEDIDA	MEDIDAS
Altura na posição sentada	
Altura em pé	
Trocânter-Maléolo externo	
Maléolo externo-calcanhar	
Maléolo externo-solo	
Calcanhar- hálux	
Interlinha articular do joelho - Maléolo externo	
Circunferência panturrilha	

MEDIDA	VALOR (cm)
Assento	
Trilho do pedal	
Altura do pedal	
Calcanhar do pedal	

TESTE REFLEXO	NÚMERO DE ESTÍMULOS(15)
REFLEXO H – VALOR = mA	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

TESTES MOTORES

ONDA M	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐
VALOR =					
FORÇA MÁXIMA	1 =		2=		3=
TWITCH INTERPOLADO	25%		50%		75%
ONDA M + 20% = mA	☐ ☐		☐ ☐		☐ ☐
QUICK RELEASE	25%		50%		75%
	☐ ☐ ☐		☐ ☐ ☐		☐ ☐ ☐

GANHO/AMPLIFICADOR	
SOLEAR	TIBIAL ANTERIOR

GANHO/AMPLIFICADOR	
SOLEAR	TIBIAL ANTERIOR

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**TÍTULO DA PESQUISA: AVALIAÇÃO DAS HABILIDADES MOTORAS E BIOMECÂNICA DO SISTEMA LOCOMOTOR EM CRIANÇAS****PESQUISADOR RESPONSÁVEL: MARIA DAS GRAÇAS PAIVA**

Este termo pode conter algumas palavras que o Senhor(a) não entenda. Por favor, pergunte ao profissional responsável pela pesquisa a respeito de quaisquer palavras ou informações que não estejam claras. O Senhor (a) receberá uma cópia deste termo de consentimento para seu registro.

Seu filho(a) está sendo convidado para participar de um trabalho de pesquisa que tem como objetivo comparar as habilidades motoras. Para atingir tais objetivos, serão realizadas avaliações físicas, com medidas de peso e altura, testes de coordenação motora, equilíbrio e lateralidade. As avaliações das habilidades motoras das crianças com anos e 10 meses e 9 anos e 2 meses de idade anos de idade consistirão de testes simples, onde se pedirá que a criança ande, pule com os dois pés, com um pé só, fique de cócoras, ou seja, atividades que ela faz normalmente no seu dia-a-dia. Para os testes de força muscular entre as crianças 8 anos e 10 meses e 9 anos e 2 meses de idade, será utilizado o ergômetro, aparelho semelhante a uma cadeira com um pedal no qual a criança apoiará um dos pés neste pedal que contém sensores de força, e assim a força que a criança produzir ao empurrar o pedal será registrada pelo aparelho, ao mesmo tempo para os testes reflexos serão colocados na perna da criança pequenos eletrodos ligados a um outro aparelho chamado de eletroestimulador que promoverá pequenas estimulações elétricas dos músculos provocando uma sensação de formigamento durante o teste. A criança receberá informações sobre os aparelhos antes e durante os testes.

Espera-se que os resultados beneficiem toda a comunidade científica, especialmente os profissionais de saúde e educação que trabalham com crianças, pois, é através do conhecimento que estratégias de prevenção e tratamento de atraso no desenvolvimento motor.

As informações obtidas através deste estudo serão tratadas rigorosamente com confidencialidade. Os resultados desta pesquisa serão divulgados publicamente, em reuniões científicas ou em revistas, mas, a identidade dos participantes não será revelada.

A participação neste estudo é voluntária: a qualquer momento, seu filho(a) pode parar de participar.

Em caso de dúvidas adicionais sobre a participação neste estudo, favor entrar em contato com Graça Paiva (081) 2126-2126-8470 ramal – 223 – Rua Nelson Chaves, S/N – Cidade Universitária-Recife.

Não assine este termo se não concordar em participar, ou se suas dúvidas não forem respondidas satisfatoriamente.

CONSENTIMENTO DOS PAIS

Lemos e entendemos as informações descritas neste estudo. Todas as nossas dúvidas em relação ao estudo. Damos livremente o consentimento para nosso(a) filho(a) participar do estudo, até que se decida pelo contrário.

Assinando este termo de consentimento, concordamos em participar deste estudo e não abrimos mão, na condição de responsáveis pelo participante do estudo de pesquisa, de nenhum dos direitos legais que teremos de outra forma.

Nome da criança	Idade	Data
Nome do Responsável	Assinatura	Data
Nome da testemunha	Assinatura	Data
Nome da testemunha	Assinatura	Data

ANEXO F- PROTOCOLO DA AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA

AVALIAÇÃO DE HABILIDADES MOTORAS

Nome:		Sexo:
Nascimento:	Idade:	Exame:
Estado Nutricional:		Dominância: Direita Esquerda

ESCALA DE DESENVOLVIMENTO MOTOR (EDM)

☐ 4 anos		
MOTRICIDADE FINA	T1	T2
1- Enfiar a linha na agulha. Para começar, mãos separadas (10cm), a linha passa pelos dedos em 2cm.		

MOTRICIDADE GLOBAL	T1.	T2
1- Saltar sobre o mesmo lugar: 7 ou 8 saltos com as pernas um pouco flexionadas.		

EQUILÍBRIO	T1	T2
1 - Equilíbrio com o tronco flexionado: olhos abertos, pés juntos e mãos apoiadas nas costas. Manter 10s, 2x.		

☐ 5 anos	
MOTRICIDADE FINA	T1
2- Fazer um nó: "Com este cordão, você irá fazer um nó em meu dedo como eu fiz no lápis".	

MOTRICIDADE GLOBAL	T1	T2	T3
2-Com os pés juntos, saltar sem impulso uma altura de 20cm. 3x, sendo que duas deverão ser positivas.			

EQUILÍBRIO	T1	T2	T3
2-Manter-se sobre a ponta dos pés, com olhos abertos e com os braços ao longo do corpo, estando pés e perna juntos. Manter 10s, 3x.			

☐ 6 anos		
MOTRICIDADE FINA	T1	T2
3-Labirinto: traçar linha contínua da entrada até a saída do primeiro labirinto e, imediatamente, iniciar o próximo. Após 30 s de repouso, começar o exercício com a mão oposta. Mão dom. (1min20seg); mão não dom (1min25seg).	Direita Esquerda	

MOTRICIDADE GLOBAL	T1	T2	T3
3-Olhos abertos, percorrer 2m em linha reta, posicionando alternadamente o calcanhar de um pé contra a ponta do outro.			

EQUILÍBRIO	T1	T2	T3
-------------------	----	----	----

Anexos

3-Pé manco estático. Braços ao longo do corpo, descansar 30s para fazer a outra perna. Manter 10 s, 3x. Olhos abertos.	Direita			
	Esquerda			

7 anos

MOTRICIDADE FINA		T1	T2
4-Fazer bolinhas papel de seda, mão dom(15seg) não dom(20seg)	Direita		
	Esquerda		

MOTRICIDADE FINA	Direita	Esquerda
4-Fazer bolinhas papel de seda, mão dom(15seg) não dom(20seg)		

MOTRICIDADE GLOBAL		T1	T2
4-Pé manco: saltar ao longo de uma distância de 5 m com uma perna e depois com a outra, mantendo a outra perna com flexão de joelho e braços ao longo do corpo. 2 voltas para cada perna.	Direita		
	Esquerda		

EQUILÍBRIO	T1	T2	T3
4 – Equilíbrio de cócoras, braços estendidos lateralmente, olhos fechados, calcanhares e pés juntos. Manter 10 seg., 3 vezes.			

8 anos

MOTRICIDADE FINA		T1	T2
5-Ponta do polegar, tocar com máxima velocidade os dedos da mão, 5 segundos (polegar → mínimo; mínimo → polegar).	Direita		
	Esquerda		

MOTRICIDADE GLOBAL	T1	T2	T3
5 – Saltar o elástico a uma altura de 40 cm, com pés juntos, 3 tentativas.			

EQUILÍBRIO	T1	T2
5 – Equilíbrio com o tronco flexionado. Pernas retas, ponta dos pés. Manter 10s, 2 vezes.		

9 anos

MOTRICIDADE FINA		T1	T2	T3
6 – Arremessar bola em alvo (25x25) a 1,50 m distância, 3 vezes cada mão.	Direita			
	Esquerda			

MOTRICIDADE GLOBAL	T1	T2	T3
6 – Saltar sobre o ar, flexionando os joelhos para tocar os calcanhares com as mãos. 3 vezes.			

EQUILÍBRIO	T1	T2
6 – Fazer um “4”.Mãos fixas nas coxas, olhos abertos. 15 seg., 2x.	Direita	
	Esquerda	

10 anos

MOTRICIDADE FINA	T1	T2	T3
7 – Círculo com o polegar, ponta do polegar esquerdo sobre a ponta do			

MOTRICIDADE GLOBAL	T1	T2	T3
7 – Pé manco com caixa de fósforo. Percorrer distância de 5 metros deslocando uma caixa de fósforo que está a 25 cm do pé que repousa no solo, 3 vezes.			
indicador direito, movimentos sucessivos com velocidade. 10 segundos, olhos fechados, 3 vezes.			

EQUILÍBRIO	T1	T2	T3
7 – Equilíbrio na ponta dos pés: olhos fechados, braços ao longo do corpo, pés e pernas juntos. 15 segundos, 3 vezes.			

11 anos

MOTRICIDADE FINA	T1	T2	T3	T4	T5
8– Agarrar uma com uma mão uma bola, lançada a 3m de distância. Manter o braço relaxado ao longo do corpo até que se diga “agarre”. 30s de repouso. 5x cada mão.	Direita				
	Esquerda				

MOTRICIDADE GLOBAL	T1	T2	T3
8–Saltar sobre uma cadeira de 45-50cm a uma distância de 50cm. 3x			

EQUILÍBRIO	T1	T2
8–Pé manco estático. Braços ao longo do corpo, descansar 30s para fazer a outra perna. Manter 10 s, 3x. Olhos fechados.	Direita	
	Esquerda	

LATERALIDADE	T1	T2	T3
1 – Mãos: escrever, pintar, desenhar, usar pente.			
2 – Olhos: Cartão furado: olhar pelo furo do cartão. Braço estendido, aproximar lentamente do rosto; Telescópio.			x
3 – Pés: chutar uma bola.			x

RESULTADOS

TESTES/ANOS	4	5	6	7	8	9	10	11
Motricidade fina (IM1)								
Motricidade global (IM2)								
Equilíbrio (IM3)								

Idade Motora (IM)		Quociente Motor (QM)	
IM1		QM1	
IM2		QM2	
IM3		QM3	

$$IMG = \frac{IM1+IM2+IM3}{3} \rightarrow IMG =$$

$$QMG = \frac{IMG}{IC} \cdot 100 \rightarrow QMC =$$

RESUMO DOS PONTOS

Idade motora geral (IMG)		Idade positiva (+)	
Idade cronológica (IC)		Idade negativa (-)	
Quociente motor geral (QMG)		Escala de desenvolvimento	

PERFIL MOTOR

Idade Cronológica	Motricidade Fina	Motricidade Global	Equilíbrio
04 anos	.	.	.
05 anos	.	.	.
06 anos	.	.	.
07 anos	.	.	.
08 anos	.	.	.
09 anos	.	.	.
10 anos	.	.	.
11 anos	.	.	.

LATERALIDADE

DDD	Destro completo	
EEE	Sinistro completo	
DED/EDE/DDE	Lateralidade cruzada	
DDI/EEI/EID	Lateralidade indefinida	

ANEXO G – PRODUÇÃO CIENTÍFICA

PRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram produzidas as seguintes publicações:

⇒ Congressos:

Paiva, MG; Marinho, SMOC; Leite, RMP; Amaral, PRAG; Aragão, RS; Barros, KMFT; Cãnon, F; Manhães-de-Catro, R; Lambertz, D. A TRANSPORTABLE ERGOMETER DEVICE TO TEST NEUROMECHANICAL PROPERTIES OF THE TRICEPS SURAE IN HUMANS. (Resumo **15.001**) III Reunião Regional da Federação de Sociedades de Biologia Experimental FESBE- Regional, Recife, 01 a 03 de junho de 2007

Paiva, MG, Lambertz, D; Marinho, SMOC; Amaral, PRAG; Manhães-de- Castro, R; Barros, KMFT. INFLUENCE OF THE NUTRITIONAL STATUS ON MECHANICAL PROPERTIES OF THE PLANTAR FLEXORS IN PREPUBERTAL CHILDREN (Resumo **02.073**). XXIII Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental- FESBE, realizado na Cidade de Águas Lindóia- São Paulo, 20 a 23 de agosto de 2008.

Souza, TOL; Paiva, MG; Marinho, SMOC; Manhães-de-Castro, R; Barros, KMFT; Lambertz, D. MECHANICAL PROPERTIES OF PREPUBERTAL CHILDREN IN THE NORTHEAST OF BRAZIL: A VALIDATION STUDY. XXIII Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental- FESBE, realizado na Cidade de Águas Lindóia- São Paulo, 20 a 23 de agosto de 2008.

Paiva, MG; Marinho, SMOC; Amaral PRAG; Cãnon, F; Barros, KMFT; Manhães- de- Castro, R; Pérot, C; Lambertz, D. MECHANICAL PROPERTIES OF THE PLANTAR FLEXOR MUSCLES IN MALNOURISHED PREPUBERTAL CHILDREN. XXXIII Congrès de la Société de Biomécanique, realizado em Compiègne- França, 03 a 5 de setembro de 2008.

⇒ Artigos:

Lambertz, D; Paiva, MG; Marinho, SMOC; Aragão, RSS; Barros, KMFT; Manhães-de-Castro, RE; Khider, N, Canon, F. QUANTIFICATION OF MUSCULOTENDINOUS STIFFNESS USING A NEW TRANSPORTABLE ANKLE ERGOMETER DEVICE” – Short Communication (**aceito pelo Journal of Biomechanics**)

Paiva MG; Lambertz D ; Souza TOL ; Marinho SMOC ; Manhães-de-Castro R ; Barros KMFT MECHANICAL PROPERTIES OF PREPUBERTAL CHILDREN IN THE NORTHEAST OF BRAZIL: A VALIDATION STUDY (**submetido ao Brazilian Journal of Physical Therapy**).

Paiva MG , Marinho, SMOC , Amaral PRAG , Barros KMFT , Manhães de Castro R , Osório MM and Lambertz D. MECHANICAL PROPERTIES OF THE PLANTAR FLEXOR MUSCLES IN PREPUBERTAL CHILDREN WITH DIFFERENTS NUTRITIONAL STATUS (**a ser submetido**)

Paiva MG, Souza TOL , Marinho SMOC , Osório MM , Manhães-de-Castro R , Lambertz D, Barros KMFT. EVALUATION OF MOTOR ABILITIES IN PREPUBERTAL CHILDREN WITH AND WITHOUT RISK OF EARLY MALNUTRITION (**submetido à Child Development**)





Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering

Supplement 1 2008

CONTENTS

Editorial

Chantal Pérot

Program overview

Detailed Program

Abstracts:

Invited conferences:

Mechanical properties of the plantar flexor muscles in malnourished prepubertal children.

M.G. PAIVA, SMOG MARINHO, PRAG AMARAL, F. CANON, K.M.F.T. BARROS, R.MANHÃES DE CASTRO, C. PEROT, D. LAMBERTZ

Compiégne – França, setembro 2008.



FeSBE 2008

20 a 23 de agosto de 2008
Águas de Lindóia – São Paulo

CERTIFICADO

Certificamos que

o resumo 02.063

Mechanical properties of prepubertal children in the Northeast of Brazil: A validation study.

Souza, T. O. L., Paiva, M.G., Marinho, S. M. O. C., Castro, R. M. de, Barros, K. M.F.T., Lambertz, D.

Depto de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife-PE - CEP:50670-901, foi apresentado sob a forma de painel

na XXIII Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental – FeSBE, realizada na cidade de Águas de Lindóia – SP, de 20 a 23 de agosto de 2008.

Comissão Organizadora