

PONTO DE VISTA

DESAFIOS BIOMECÂNICOS NO DESENVOLVIMENTO DO ANDAR
INFANTIL

Biomechanical challenges in the development of infant gait

Profa. Dra. Paula H. Lobo da Costa.¹

A beleza e a complexidade do movimento humano já inquietavam o homem nos princípios da especulação filosófica com Aristóteles no IV século a.C. Foi com Borelli na segunda metade do século XVII que a Física de Galileu foi aplicada ao estudo do movimento humano e dos animais, a partir da noção de que as mesmas leis físicas governavam os movimentos no mundo material e vivo.

O interesse pela locomoção infantil parece ter sido despertado com os estudos fotográficos de MUYBRIGDE feitos no início do século XX (1901, reeditado em 1955). Estas fotografias seriadas claramente revelam algumas peculiaridades do movimento infantil, que foi registrado em planos diferentes, enquanto crianças andavam, corriam e subiam degraus.

¹ Departamento de Educação Física e Motricidade Humana – UFSCar

Este é um texto para fins didáticos, fruto de discussões realizadas em nosso Grupo de Estudos “Biomecânica do Movimento Humano”, linha de pesquisa “Locomoção Infantil”, estas baseadas nos trabalhos dos autores listados na bibliografia. Sem a participação das alunas relacionadas, cujas co-autorias são aqui reconhecidas, esse texto não existiria. A todas elas, meus agradecimentos pela dedicação e incentivo:

Fernanda Grazielle da Silva Azevedo Nora – Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia – UFSCar.

Carolina Souza Neves da Costa – Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia – UFSCar.

Giovana Levada – Curso de Educação Física – UFSCar.

Aline Silva e Sá – Curso de Educação Física – UFSCar.

Emilie Erbeta Mahas – Curso de Educação Física – UFSCar.

Muitos bebês mamíferos colocam-se em pé nos primeiros momentos após o nascimento e são capazes de andar nas primeiras horas de vida. Diferentemente dessas espécies, bebês humanos necessitam de aproximadamente 10, 12 meses até que os primeiros passos do andar independente sejam realizados. Essa relativa lentidão no desenvolvimento do andar deve-se em boa parte aos desafios únicos representados pela aquisição da postura em pé bípede e do equilíbrio dinâmico no campo gravitacional que precisam ser vencidos pelo sistema motor imaturo (chamamos de sistema motor o conjunto formado pelos sistemas neuro-muscular, sensorial e esquelético).

Todas as crianças vêm a este mundo despreparadas para enfrentar os desafios impostos pela bipedestação no campo gravitacional, já que estão habituadas ao ambiente aquático. Nesse contexto, os principais desafios biomecânicos enfrentados pelo bebê durante esse período são: a grande massa relativa da cabeça e altura do CG, que geram instabilidades estáticas, a ausência do mecanismo de pêndulo invertido para garantir os padrões de flutuação da energia mecânica cinética e potencial gravitacional, o equilíbrio dinâmico que precisa ser mantido durante o longo tempo em apoio simples típico do andar e a postura ereta bípede que precisa ser controlada. Além de quantificar variáveis mecânicas, a Biomecânica pode contribuir também com uma perspectiva teórica para a compreensão das mudanças que levam à gradual superação de tais dificuldades.

O objetivo deste ensaio é apresentar uma abordagem para a compreensão do desenvolvimento do andar independente em bebês baseada nas idéias de BERNSTEIN (1967). Para tanto, seguir-se-á a noção de que a manifestação de padrões mais maduros de movimentos acontece quando o sistema motor responde às experiências no contexto funcional e às mudanças nas propriedades biomecânicas do organismo. Foi Bernstein quem transferiu para o movimento humano os princípios da teoria dos sistemas existente na Física e na Biologia, desencadeando uma perspectiva ecológica para o estudo desse fenômeno.

É importante começar definindo alguns conceitos: a marcha é aqui entendida como uma função para o transporte seguro e eficiente do homem no espaço terrestre. Já andar é o padrão fundamental de movimento que, necessário à função da marcha, está permeado por aspectos culturais, sociais, psicológicos, entre outros. Dessa forma, entende-se que a função da marcha é aperfeiçoada à medida que o andar é aprendido.

Por trás da aparente simplicidade do andar existem complexos mecanismos de controle. Esta complexidade fica evidente quando se observa que aprender a andar não é tarefa simples para um bebê. Desde a estereotipia dos movimentos de um recém-nascido até o andar livre e independente ocorre uma grande transformação na capacidade de coordenar movimentos.

Durante a infância, movimentos seqüenciais e ordenados surgem em idades relativamente previsíveis, o que levou a um grande volume de estudos de natureza descritiva e à noção de estágios enquanto modelos explicativos, representando períodos em que o comportamento motor é relativamente estável. Apesar da importante contribuição dos estudos baseados em abordagens fenomenológicas na identificação de estágios no desenvolvimento motor, esses não se preocupam com a compreensão dos possíveis mecanismos responsáveis pelas mudanças no movimento humano. Já a Biomecânica pode analisar o problema a partir de uma abordagem estrutural-analítica na busca de fatores que possivelmente afetam o processo de aquisição da marcha em bebês.

Esta abordagem tem estudado o desenvolvimento motor não como um processo submetido à seqüência de maturação de centros e vias do sistema nervoso, mas sim enquanto um processo regulado a partir da interação dinâmica do indivíduo com seu meio ambiente. O termo “dinâmica” neste contexto tem o sentido de atividade coordenativa do sistema nervoso central envolvida numa dada tarefa motora. Neste caso, pesquisadores interessam-se pelo exame de como os desafios biomecânicos encontrados pelas crianças no curso de seu desenvolvimento e suas possíveis soluções modulam a formação de padrões progressivamente mais maduros de movimentos.

O desenvolvimento do andar infantil foi por muito tempo considerado como um fenômeno governado pela maturação do sistema nervoso e, como tal, pouco influenciável por fatores externos. Conseqüentemente, não havia muito para ser explicado, além de uma descrição da seqüência natural de aparecimento de distintos comportamentos. Dessa tradição, surgiram idéias muito difundidas nos meios da Educação Física e Fisioterapia tais como:

- 1 - movimentos são o resultado de reflexos ou de comandos do sistema nervoso central;
- 2 - movimentos são mais prováveis de serem repetidos quando associados a sentimentos de prazer e recompensas;
- 3- a repetição de movimentos é o mecanismo central da aquisição de um movimento novo;
- 4- o que se desenvolve são padrões de movimentos.

Do nosso ponto de vista, estas idéias poderiam ser caracterizadas como idéias ingênuas, pois o desenvolvimento do andar infantil resulta de um fenômeno multidimensionado e, dessa maneira, deriva de um processo que não se deve apenas à maturação neurológica, mas também a um sistema auto-organizado que aprende a integrar as demandas que envolvem a tarefa, o ambiente e o organismo. Assim, as idéias acima podem ser transformadas em interrogações, às quais tentaremos responder a seguir.

1 - Seriam os movimentos o resultado de reflexos ou de comandos do sistema nervoso central?

Muitas das idéias e proposições criadas até hoje em torno do desenvolvimento infantil têm sido sustentadas pela noção de que o movimento é o resultado da maturação e dos comandos do SNC (Sistema Nervoso Central), que lidera e coordena outras estruturas de maneira hierárquica. No entanto, a visão de que o desenvolvimento motor é unicausal e hierárquico pode ser contestada pelos estudos sobre o reflexo da marcha e a marcha voluntária de bebês.

Sabe-se que as bases neurais do andar são os reflexos posturais e o da marcha. O reflexo da marcha surge quando bebês recém-nascidos são colocados na postura em pé com ligeira flexão de tronco sobre uma superfície rígida que os faz realizar passadas alternadas. Muitos foram os estudos desenvolvidos com bebês a partir dos quatro meses de idade, período em que, na maioria dos casos, não ocorre o comportamento típico da marcha reflexa. Porém, por volta do oitavo mês, o comportamento de realizar passos reaparece, sem que o bebê seja ainda capaz de andar sozinho.

Caso o reflexo da marcha perdesse sua função no organismo do bebê, este desapareceria do repertório motor e seria mais tarde substituído pela marcha voluntária. Várias

questões em torno desse fato surgiram, dentre elas: Como o recém-nascido pode executar movimentos tão bem coordenados em um período que acreditava-se ser motoramente imaturo? Por que o reflexo de marcha desaparece?

Quando as demandas de equilíbrio e sustentação (quando o bebê realizou a marcha na água), bem como as de propulsão (quando o bebê realizou a marcha em esteira mecânica) foram satisfeitas por manipulações do ambiente colocadas aos bebês no período em que estes não manifestavam o reflexo da marcha, os movimentos alternados dos membros inferiores típicos de uma passada do andar reapareceram. A hipótese que se levantou diante desses fatos foi a de que, apesar das bases neurais já estarem presentes muito antes do andar voluntário ser realizado, este comportamento da marcha reflexa não se manifesta nesse período devido ao desenvolvimento assíncrono da massa corporal e da força muscular. Ou seja, os bebês ganham rapidamente massa corporal nesse período, porém esta não está relacionada a ganho em força muscular e sim à regulação térmica, não havendo, portanto, a força muscular adequada para a sustentação dos membros inferiores no campo gravitacional, as passadas não ocorrem.

É importante lembrar também que essa marcha facilitada mostrou-se altamente sensível às velocidades e aos graus de suporte. Desta forma, a marcha facilitada pelo contexto do ambiente não pode ser considerada um reflexo, mas sim como uma habilidade motora complexa, na qual o bebê é capaz de perceber as informações de seus componentes e auto-organizar seu comportamento a partir das exigências biomecânicas.

Quanto à noção de que os movimentos são resultados de comandos do sistema nervoso central, pode-se argumentar também com base nos estudos da marcha reflexa de bebês: não é possível haver correspondência inequívoca entre impulso efetor e movimento, pois esse fato implicaria uma correspondência de um para um, ou seja, para cada comando efetor haveria uma resposta motora específica, o que demandaria uma computação neural além das possibilidades de um bebê, como seria o caso, por exemplo, para se aprender a andar de bicicleta, além de muito lenta. Adicionalmente, o controle seria feito via circuito aberto, sem a possibilidade de inclusão de feedback sensorial, que ocorre continuamente durante a ação. A esse fato está associada uma importante noção para o estudo do movimento humano em geral, a de que músculos e trajetórias não são representados no sistema nervoso central. Assim, quando se mede a atividade elétrica de um grupo muscular através da eletromiografia e as amplitudes

articulares por cinemetria, por exemplo, está se avaliando o produto de um processo interno e complexo, cujas formas de interação entre as partes não são conhecidas. Conclui-se, pois, que movimentos não são fórmulas de forças musculares permanentemente representadas no sistema nervoso central e que o efeito motor de um comando central não é decidido centralmente, mas sim na periferia, ou seja, na interface com o campo das forças externas. Assim, bebês não apresentam o comportamento da alternância de passos até que sejam capazes de lidar com o campo gravitacional, apesar das condições neurais para tanto estarem presentes.

2- Seriam os movimentos mais provavelmente repetidos quando associados a sentimentos de prazer e recompensas?

Quanto à repetição de movimentos, a visão que chamamos de ingênua é a de que a repetição ocorre, pois trajetórias neurais são fixadas ou reforçadas quando sensações de recompensa e prazer estão associadas à realização de movimentos, o que é conhecido pelo behaviorismo por Lei do Efeito de Thorndike. Essa lei considera que qualquer ação que produza um efeito satisfatório será repetida. Dessa forma, através do amadurecimento do SNC, o bebê experimentaria um período de busca por sensações de prazer e tenderia a repetir os movimentos e essa repetição seria necessária para adquirir e reter padrões de movimento.

Porém, é preciso considerar que quando um bebê começa a aprender a andar, ele o faz justamente por não saber fazê-lo. Nesse caso, o que seria fixado em termos de comandos neurais seriam padrões inapropriados, correspondentes a respostas mal sucedidas que seriam repetidas. Não parece haver razões lógicas para se “imprimir” no sistema nervoso central tais traços neurais. Estudos do movimento de alcance em bebês demonstraram claramente que padrões imaturos de movimentos tendem a ser repetidos sempre que estiverem associados a soluções mais estáveis para o problema motor do alcance de objetos, colocado no ambiente. Além disso, pode-se constatar que os bebês não apenas captam os estímulos, mas sim distinguem as informações do ambiente, planejam e organizam suas ações para que essas sejam executadas de forma satisfatória. Assim, pode-se reinterpretar a lei do efeito: a repetição ocorre, pois uma dinâmica apropriada para a solução do problema motor está sendo explorada e não porque uma certa trajetória neural foi reforçada como consequência de recompensas.

3- Seria a repetição de movimentos o mecanismo central da aquisição de um movimento novo?

Sabe-se que nosso sistema motor é complexo (um sistema complexo é aquele cujas partes interagem de maneira não trivial e cujas leis das interações não são conhecidas) e dotado de grande variabilidade nos diferentes níveis de controle. Esse fato torna a repetição de movimentos de maneira idêntica algo impossível por princípio. Com base nisso, pode-se argumentar que o mecanismo central de aquisição de um movimento novo não seja a repetição do padrão de movimento, porquanto impossível de ocorrer, mas sim a repetição do processo de solucionar um dado problema motor.

A criança torna-se cada vez mais habilidosa devido ao aprimoramento de sua capacidade para avaliar as condições do ambiente e agir adaptativamente. Ou seja, a capacidade de encontrar soluções dinâmicas bem sucedidas e estáveis a problemas motores deve ser a base da repetição e o que é repetido não são os padrões de movimento, mas sim o processo de solucionar um dado problema motor.

4- O que se desenvolve são padrões de movimentos?

Quando se observa que um bebê rapidamente se torna cada vez mais habilidoso na realização de movimentos, pode-se adotar a visão ingênua de que ocorrem transformações nos movimentos, de maneira que cada segmento corporal, ou cada componente do movimento, vai gradualmente alterando-se em direção a um padrão mais maduro, tendo como referência o modelo de um movimento adulto. Porém, movimentos não são um encadeamento de detalhes, mas sim formações integrais, ou seja, respondem como um todo a mudanças em seus detalhes.

Estudos sobre o papel da cultura promovendo determinadas ações motoras em bebês, chamados de estudos do campo cultural de promoção de ações motoras, demonstram que pais e outros cuidadores promovem uma gama de comportamentos motores distintos em bebês, tornando-os cada vez mais habilidosos em avaliar um conjunto de variáveis ambientais de um certo problema motor. Ou seja, o campo social das interações expõe seletivamente os bebês a um conjunto de estimulações cinéticas. Assim, os bebês tornam-se cada vez mais capazes de interagir com o ambiente através das oportunidades culturais que lhe são apresentadas para experimentar e explorar suas ações motoras. Nesse sentido, o que se desenvolve não é o padrão de movimento, mas a

ação motora e isso ocorre de maneira auto-organizada, de forma que a estrutura dinâmica de um movimento, o que podemos chamar de ação, não é fixa e nem é estabelecida previamente, mas evolui em correspondência estrita com inúmeros fatores externos.

Para concluir nosso ponto de vista, reafirmamos que o estudo do movimento infantil pode contribuir para a compreensão do movimento humano enquanto fenômeno, ao adotarmos uma perspectiva dos sistemas de ação, em oposição às idéias ingênuas levantadas na forma de questões. Enfatiza-se, assim, que o comportamento motor é o produto multicausal e heterárquico, em que cada movimento é o resultado de um processo complexo em que não há distinção entre o centro e a periferia, o pré-programado geneticamente e as relações com o ambiente. Movimentos tornam-se cada vez mais coordenados ao longo do tempo porque crianças aprendem a organizar adequadamente o campo biomecânico (forças internas e externas), integrar as variáveis exigidas para o movimento numa única unidade funcional e responder às demandas ambientais.

REFERENCIAS

ADOLPH, K. E.; EPPLER, M. A.; GIBSON, E. J. Development of perception of affordances. **Advances in Infancy Research**. Norwood, N. J: Ablex Publishing Corporation, v.8, 1993. p. 51-95.

BERNSTEIN, N. **The co-ordination and regulation of movements**. London, Pergamon Press, 1967.

BRANDÃO, J. S. **Bases do tratamento por estimulação precoce da paralisia cerebral ou dismetria cerebral ontogênica**. 2a. Edição, São Paulo, Atheneu, 1992.

BRENIÈRE, Y. How locomotor parameters adapt to gravity and body structure changes during gait development in children. **Motor Control**, v.3,n.2, p. 561-672, 1999.

BRILL, B.; BRENIÈRE, Y. Posture and gait in early childhood: learning to walk or learning dynamic equilibrium? In G. SAVELSBERG (Ed.), **Development of coordination in infancy**. Amsterdam, Elsevier, 1993.

CLARK, J. E.; PHILLIPS, S. J. A longitudinal study of intralimb coordination in the first year of independent walking: a dynamical systems analysis. **Child Development**, v.79, p. 1143-57, 1993.

CORBETTA, D.; THELEN, E.; JOHNSON, K. Motor constraints on the development of perception-action matching in infant reaching. **Infant Behavior and Development**, v.23, p.351-374, 2000.

FORSSBERG, H. Ontogeny of human locomotor control I: infant stepping, supported locomotion and the transition to independent locomotion. **Experimental Brain Research**, v. 57, p.480-93,1985.

GALLAHUE, D.L.; OZMUM, J. C. **Compreendendo o desenvolvimento motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos**. São Paulo, Phorte Editora, 2003.

GIBSON, E. J.; PICK, A. D. **An ecological approach to perceptual learning and development**. New York, Oxford University Press, 2000.

GUSTAFSON, G. Effects of the ability to locomote on infants' social and exploratory behaviors: an experimental study. **Developmental Psychology**, v. 20, p. 397-405, 1984.

MAQUET, P. The human gait by Braune and Fischer. In: CAPPOZZO, A.; MACHETTI, M.; TOSI, V. (eds.). **Biocomotion: a century of research using moving pictures**. Roma, Promograph, 1992.

MUYBRIGDE, E. **The human figure in motion**. New York, Dover, 1955.

REED, E. S.; BRIL, B. The primacy of action in development. In: LATASH, M.; TURVEY, M. (eds.). **Dexterity and its development**. Mahwah, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associate Publishers, 1996.

THELEN, E. Treadmill-elicited stepping in seven-month-old infants. **Child Development**, v.57, p.1498-506, 1986.

THELEN, E.; FISHER, D. M. Newborn stepping: an explanation for a „disappearing“ reflex. **Developmental Psychology**, v.18, n.5, p.760-75, 1982.

THELEN, E.; FISHER, D. M.; RIDLEY-JOHNSON, R. The relationship between physical growth and a newborn reflex. **Infant Behavior and Development**, v. 7, p. 479-493, 1984.

THELEN, E.; KELSO, J. A. S.; FOGEL, J. A. S. Self-organizing systems and infant motor development. **Developmental Review**, v. 7, p. 39-65, 1987.

THELEN, E., ULRICH, B. D.; NILES, D. Bilateral coordination in human infants: stepping on a split-belt treadmill. **Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance**, v.13, n.3, p. 405-410, 1987.

VAN HOFSTEN, C. Development of visually directed reaching: the approach phase. **Journal of Human Movement Studies**, v. 5, p. 160-178,1979.