

# Um movimento, dois olhares: a mudança de paradigma na análise do controle motor e seu efeito na abordagem da marcha humana

## One movement, two perspectives: a paradigm change in the motor control

HAUPENTHAL A, PEREIRA ND, MICHAELSEN SM. Um movimento, dois olhares: a mudança de paradigma na análise do controle motor e seu efeito na abordagem da marcha humana. **R. bras. Ci. e Mov** 2010;18(2):107-115.

**RESUMO:** A análise de dados na ciência depende da bagagem cultural e experiência do pesquisador. Estudos sobre a marcha tem como base uma das principais teorias de controle motor: programa motor generalizado e teoria dos sistemas dinâmicos. O objetivo deste estudo foi analisar estas teorias e verificar como os estudos a partir destas correntes teóricas abordam o movimento humano denominado marcha. Foram selecionados artigos completos a partir dos unitermos: *motor program*, *generalized motor program*, *dynamic system theory*, *gait*. O programa motor generalizado analisa a semelhança dos dados para encontrar um padrão no movimento. Os sistemas dinâmicos visam analisar coordenação e variabilidade para verificar estabilidade ou emergência no movimento. Com isso os estudos a partir das duas teorias enfocam fatores diferentes para a análise e interpretação dos dados. Para a marcha a teoria do programa motor generalizado analisa a semelhança de dados de eletromiografia e cinemetria com o intuito de encontrar o padrão de movimento constante e segundo este padrão o programa motor abstrato para este movimento. A teoria dos sistemas dinâmicos visa analisar a coordenação inter e intra-membros e a variabilidade durante a tarefa para verificar a estabilidade do movimento ou a emergência de outro padrão. Pode ser caracterizado que estas duas teorias apesar de tratarem do mesmo tema, o fazem com objetivos diferentes, levando a constatação de uma divergência na abordagem e análise dos dados dependendo da teoria de base do pesquisador.

**Palavras-chave:** Controle motor; Marcha humana; Programa motor generalizado; Teoria dos sistemas dinâmicos.

**ABSTRACT:** Data analysis, in any science field, depends on the investigator's cultural luggage and experience. Among the studies regarding the motor control, two theories are currently in vogue: the generalized motor program and the dynamic systems theory. The aim of this study was to create a general view of both theories and verify how each theory explains the human movement named "gait". To achieve this aim, full articles were selected through the following key words: *motor program*, *generalized motor program*, *dynamic system theory*, *gait*. The generalized motor program analyses data similarity in order to find a movement pattern. Dynamic systems theory verifies coordination and variability with the intention of explaining stability or emergence of a movement. Thereby, studies related to these two different theories focus on different factors when carrying out the data analysis and interpretation. Regarding the human gait, the generalized motor program theory analyses the similarities between the electromyographic and kinematic data in order to find a constant movement pattern and the abstract motor program of this movement. The dynamic systems theory aims to analyze intra-limb and inter-limb coordination and the variability during the task execution in order to verify the movement stability or the emergence of another pattern. By this means, despite the fact that both theories approach the same theme, different objectives can be characterized depending on the theory that is being used. This fact leads to a data approach divergence that is dependent upon the investigator's theoretical background.

**Key Words:** Motor control; Human gait; Generalized motor program; Dynamic systems theory.

Alessandro Hauptenthal<sup>1</sup>  
Natália D. Pereira<sup>1</sup>  
Stella M. MichaelSEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina

Recebido em: 08/09/2010  
Aceito em: 10/01/2011

## Introdução

A análise de dados em qualquer área da ciência é dependente da bagagem cultural e da experiência do pesquisador. São esses, os dois fatores principais, quando do delineamento da pesquisa desde sua concepção inicial aos resultados finais. Desde o surgimento do problema, ponto de partida de uma pesquisa, a forma como ele será abordado vai depender do paradigma existente na concepção cultural do pesquisador que realizará o estudo. Assim, é o modelo teórico de base na concepção do profissional o fator crucial para o desenvolvimento do trabalho<sup>1,15,24</sup>.

Na área do comportamento motor não é diferente, Tani relata a dicotomização de posições teóricas como freqüente no pensamento científico<sup>33</sup>. Para esse autor, esse problema é comum e faz-se “caracterizado entre grupos de pesquisadores que aderem ou se comprometem com diferentes posições teóricas”, ainda cita que “a inevitabilidade dos confrontos decorre de uma razão muito simples as teorias rivais não são propostas ao mesmo tempo”. Ainda a partir do mesmo autor vê-se que na década de 1970 ocorreu um embate centralista-periferista, que foi a batalha entre a teoria do circuito aberto e a do circuito fechado. O grau diferencial está no papel do *feedback* (retroalimentação) para o controle do movimento. Com o tempo chegou-se ao reconhecimento que a diferença estava relacionada mais às tarefas estudadas do que nas posições teóricas assumidas, atualmente existe o consenso de que tanto os fatores centrais quanto periféricos desempenham sua função, dependendo do tipo de habilidade o predomínio de uma ou outra. A teoria do esquema de Schmidt<sup>25</sup> desempenhou papel crucial nesse processo conciliatório ao integrar as duas visões. Essa teoria culminou em um dos focos desse artigo que é a teoria do programa motor generalizado (PMG).

Paralelamente ao surgimento do PMG outra teoria vinha surgindo para explicar como surge o movimento, que também foi aplicada ao movimento humano. A partir dos estudos de Bernstein em 1967, e da evolução em alguns campos da física e do controle de sistemas em engenharia surge a teoria dos sistemas dinâmicos.

Conjuntamente a esse processo houve a evolução da teoria do caos e a evolução da aplicação de ferramentas complexas de análise em diversos sistemas para estudar sua interação e agir para entendê-la, e em alguns casos controlá-la (robótica). A teoria dos sistemas dinâmicos não se preocupa em explicar a representação central ou o processamento da informação como no PMG, visa à análise da emergência (aparecimento) de determinado movimento a partir da situação em que ele ocorre e de como se encontra o sistema motor subjacente. Pontos cruciais para um bom entendimento desta análise é a noção de executante e ambiente e a não dissociação de percepção e ação para a função a ser desempenhada. A teoria dos sistemas dinâmicos não visa então a organização e o controle com base em memória, programas motores ou esquemas, explica a emergência de um movimento com base nas propriedades dinâmicas do sistema efetor<sup>12,26,34</sup>.

Embora as origens destas teorias tenham sido propostas a mais de 35 anos, ainda coexistem atualmente estes dois paradigmas correntes na área de controle motor: de um lado o PMG que procura explicar o movimento a partir do processamento de informações e da representação e armazenagem de esquemas abstratos para a efetuação dos movimentos, de outro está a teoria dos sistemas dinâmicos que visa entender o surgimento de um movimento a partir das propriedades do indivíduo e de sua localização em relação ao ambiente, sendo ainda importante destacar que a percepção do indivíduo não pode ser dissociada do movimento que ele pretende executar em relação ao movimento que vai surgir<sup>21</sup>.

Embora as primeiras publicações no Brasil sobre a Teoria dos Sistemas Dinâmicos datam de 15 anos, esta teoria é ainda hoje relativamente pouco difundida se comparada à teoria do PMG<sup>5,22</sup>. Ainda não é de conhecimento destes autores uma publicação que contraste as duas teorias visando o entendimento de suas respectivas contribuições para o entendimento do controle motor da marcha humana. A partir desse contexto, este estudo visa entender as teorias e defrontar a análise realizada em artigos científicos de marcha humana a partir

do enfoque do programa motor generalizado e da abordagem realizada pela teoria dos sistemas dinâmicos.

### **Materiais e métodos**

Para este estudo de revisão foi realizada uma busca no portal periódico da CAPES, além das revistas e congressos brasileiros da área de saúde. Foram selecionados artigos completos a partir dos unitermos: *motor program, generalized motor program, dynamic system theory, gait*. Após a leitura do título e/ou resumos desses artigos, foram selecionados todos aqueles que descreviam e discutiam os conceitos relacionados à teoria do programa motor generalizado e dos sistemas dinâmicos, para a verificação das diferentes formas de abordagem e discussão dos resultados. Dessa forma, os artigos que puderam ser coletados na íntegra nos últimos 20 anos foram analisados.

### **Resultados**

A partir das palavras chave selecionadas para a análise e da relação dos artigos encontrados com o tema do estudo foram catalogados 49 artigos, destes, foram selecionados 13 artigos diretamente relacionados com marcha humana e alguns que são importantes para o referencial teórico sobre os temas abordados. Assim, segue uma breve revisão do conceito de programa motor generalizado e dos sistemas dinâmicos, afim de melhorar condições para o leitor que não estiver tão familiarizado com o tema de conhecer estes paradigmas e as variáveis relacionadas para facilitar a compreensão da comparação dos artigos que abordam estes temas.

#### *Programa motor generalizado*

A teoria do programa motor generalizado surge a partir da teoria do programa motor. Segundo esta teoria para realizar uma ação existe uma série de comandos que são estruturados antes do movimento ser iniciado e estes executam a ação depois de seu início. A teoria do PMG soluciona em parte o problema da quantidade de armazenamento uma vez que o feedback ajudaria a refinar este programa motor geral para adaptá-lo para cada

situação específica não seria mais necessariamente armazenado na memória um programa diferente para cada tipo de movimento e sim para um grupo de situações<sup>24,21,20,27</sup>.

Dessa forma, outros dois fatores também foram resolvidos, um deles diz respeito ao controle da tarefa em relação ao sistema nervoso central, que não assume o controle, comando e responsabilidade total, sendo a execução do movimento distribuída ao longo do sistema nervoso. Com isso, responderam também a outra indagação interessante relativa à regressão infinita, que diz respeito a sempre ser possível dividir o comando no sistema nervoso central em menor grau, o que nunca chegaria ao fim (homúnculo do cérebro, que pode ser dividido em áreas, que podem ser divididas em pequenas áreas e estas em menores que podem ser divididas em camadas e etc...). Como citada anteriormente, relacionada também a esta questão da armazenagem abstrata, estava a capacidade da memória. Se cada movimento precisasse de um local específico de armazenagem, chegaria um ponto em que essa capacidade poderia estar perto do máximo ou esgotada. Mas como no PMG a armazenagem é na forma de programas gerais armazenados de forma abstrata, com agrupamento de comandos a capacidade se torna praticamente infinita<sup>29</sup>.

Quanto à variabilidade, novidade na tarefa e equivalência motora, a teoria ainda está sendo analisada. Aliada a estas questões ainda tem-se a influência da dinâmica do movimento, assim a questão do ambiente e das restrições biomecânicas também devem ser levadas em conta. Para tanto, o PMG prevê a armazenagem do movimento a partir de um padrão. Quando o sujeito realiza este movimento ele o adapta para as demandas da tarefa. Dessa forma, um movimento humano nunca é totalmente novo porque o organismo o realiza a partir das bases que possui<sup>21,27,28</sup>.

A partir dessa teoria, apesar do movimento ser adaptável, ele preserva o padrão temporal do movimento devido ao programa geral para a tarefa específica que está sendo realizada. A adaptação é realizada mediante a alteração da velocidade, amplitude de movimento, grau de

ativação muscular, músculos utilizados para a ação, etc. Essas variáveis são denominadas parâmetros, que são as características modificáveis do programa que permitem que os indivíduos ajustem o padrão geral do movimento para atingir a demanda específica. O que permanece é o padrão temporal relativo, apesar de variar os parâmetros entre os tipos de movimento quando normalizados pelo tempo total do movimento, o padrão temporal permanece constante<sup>24</sup>.

A partir desta breve explanação, se fôssemos sintetizar o PMG é possível relatar que é uma teoria advinda da aplicação do processamento da informação para o movimento humano, a qual caracteriza o movimento como padronizado em resposta, sendo então determinístico, observa o processo interno da informação e relata que para grupos de movimentos temos uma relação temporal constante, muitas vezes com uma variabilidade pequena.

#### *Teoria dos sistemas dinâmicos*

A teoria dos sistemas dinâmicos parte de outra base de raciocínio. Os alicerces desta teoria podem ser remetidos aos trabalhos de Bernstein e a evolução da teoria do caos nos mecanismos de controle<sup>25,5,30</sup>.

Bernstein demonstrou que a partir de igual comando central a resposta pode variar devido à interação das forças externas às condições iniciais. Assim, ele colocou a interação da biomecânica (contribuição dos diferentes músculos, articulações e posição destes em relação à gravidade e aos instrumentos utilizados) com o controle do movimento. Relatou que para resolver o problema dos inúmeros graus de liberdade (possibilidade da mesma ação ser produzida com diferentes posicionamentos de cada parte do corpo, inúmeros arranjos diferentes e com igual cumprimento do objetivo almejado) que poderiam ser usados para realizar uma ação, o corpo agia em conjunto para realizar as ações, essa ação conjunta denominou sinergia<sup>33,25,5</sup>.

Sistema pode ser definido como o conjunto de elementos em interação ou uma unidade complexa com várias subunidades que cooperam sistematicamente. Se as partes do sistema possuem interação, sua análise deve ser

realizada como um todo não divisível, e não reduzido uma vez que a análise isolada pode levar a resultados errados devido ao isolamento de uma variável que possui efeito de outra<sup>5</sup>. Assim, para analisar os sistemas complexos de forma fidedigna surgiu a teoria do caos e suas ferramentas. A partir dessa teoria o comportamento caótico de um sistema caracteriza-se por apresentar-se de forma desordenada e simultaneamente com certo tipo de ordem, dependendo de como analisamos o fenômeno. Exemplo, um tornado visto de longe e de perto, como o fenômeno pode ser visto desordenadamente (perto) e ordenadamente (longe) e como atualmente os meteorologistas conseguem prever os tornados com eficácia. Para analisar e estudar estes fenômenos na década de 1970 e 1980 dentro do controle de sistemas surgiu importantes ferramentas e métodos. Essa análise é realizada de forma não linear e a partir de atratores para a verificação da organização do fenômeno a ser analisado. Outro exemplo de análise discutido na teoria do caos e aplicado em análises do movimento é relativo às bifurcações. Uma bifurcação ocorre quando uma mudança abrupta, salto qualitativo ocorre no sistema que atinge um novo estado ou equilíbrio. Exemplo, na física a transição da água do estado líquido para gasoso. Nesses casos o nível de perturbação parece ser importante, pequena perturbação é igual a pequeno ajuste e grande perturbação é igual à grande ajuste ou mudança de estado. Entre estes níveis está a turbulência onde na transição de fase, instantes antes do ajuste o sistema entra em estado crítico com desordem, instabilidade e aleatoriedade. A bifurcação denota a transição de um estado para outro e a troca de atrator. No movimento pode ser visto esse fenômeno ao aumentarmos a velocidade da marcha até ocorrer a transição da caminhada para a corrida em determinada velocidade<sup>33,34,30,23</sup>.

A velocidade em que ocorreu a transição é nomeada como um estado crítico, está no limite ou fronteira, é o estado da criação ou novidade. Mas não basta a perturbação adequada (nesse caso o aumento da velocidade) é preciso que o sistema esteja pronto para mudar (com capacidade de realizar o movimento), em

constante interação e no ponto de transição para que com pequeno estímulo ocorra grande mudança<sup>25</sup>.

A partir dessas bases surge a teoria dos sistemas dinâmicos, na qual se tenta determinar se princípios gerais de geração do movimento podem ser determinados para o comportamento motor. Esta análise é realizada observando-se macroscopicamente o movimento e criando variáveis quantitativas para caracterizar os padrões. Por enquanto as variáveis que podem ser citadas são os parâmetros de ordem e os parâmetros de controle<sup>25,33</sup>.

Os parâmetros de ordem são as variáveis que servem para a análise do movimento de forma a caracterizar aquele movimento. É o conjunto de variáveis que definem macroscopicamente o padrão de comportamento. Descobrir estas variáveis pode-se estudar quantitativamente o comportamento dinâmico do sistema ou como ele muda de padrão ou se mantém estável. Exemplo de parâmetros de ordem podem ser para o movimento de coordenação bi manual a fase relativa e o diagrama de fase<sup>25</sup>.

Os parâmetros de controle são os fatores que quando alterados causam mudança no estado do sistema, exemplo temperatura para o estado da água e velocidade para o tipo de marcha. A palavra controle, tem o sentido de gerar as condições para o sistema mudar espontaneamente de um estado a outro dependendo de sua estabilidade<sup>25</sup>.

O surgimento do novo estado depende então das condições de estabilidade do sistema (estado atrator) e do nível de estímulo que foi dado, assim um novo padrão poderia “emergir” a partir das condições do sujeito e de seu estado em relação ao ambiente<sup>26</sup>.

Sintetizando o que foi encontrado a partir desses fatores, a teoria dos sistemas dinâmicos está relacionada à teoria do caos, é não determinística (estocástica) porque depende da interação e condições do indivíduo e ambiente, não possui uma representação central, e aqui outro ponto fundamental que é relacionado à variabilidade. Essa é entendida como fundamental porque

é ela que gera as condições de adaptação da tarefa ao ambiente.

## **Discussão**

### *Análise dos artigos sobre programa motor generalizado*

Os estudos que abordam o PMG tratam das variáveis que estão relacionadas ao processamento da informação no corpo para gerar a resposta correspondente no programa motor para o movimento realizado. Para a marcha humana (caminhada e corrida) os estudos dentro desta teoria geralmente abordam a eletromiografia (EMG) ou a cinemetria<sup>3,16</sup>.

Para a análise da EMG os estudos visam encontrar o padrão de recrutamento muscular e a sua consistência para os movimentos de marcha humana e até mesmo a invariância desta consistência quando comparada com a alteração destes movimentos como numa mudança de direção ou num salto<sup>2,9,10,11</sup>. Neste contexto, visualizam os dados e verificam a semelhança entre os padrões de ativação que correspondem a um programa motor geral e suas adaptações para movimentos específicos.

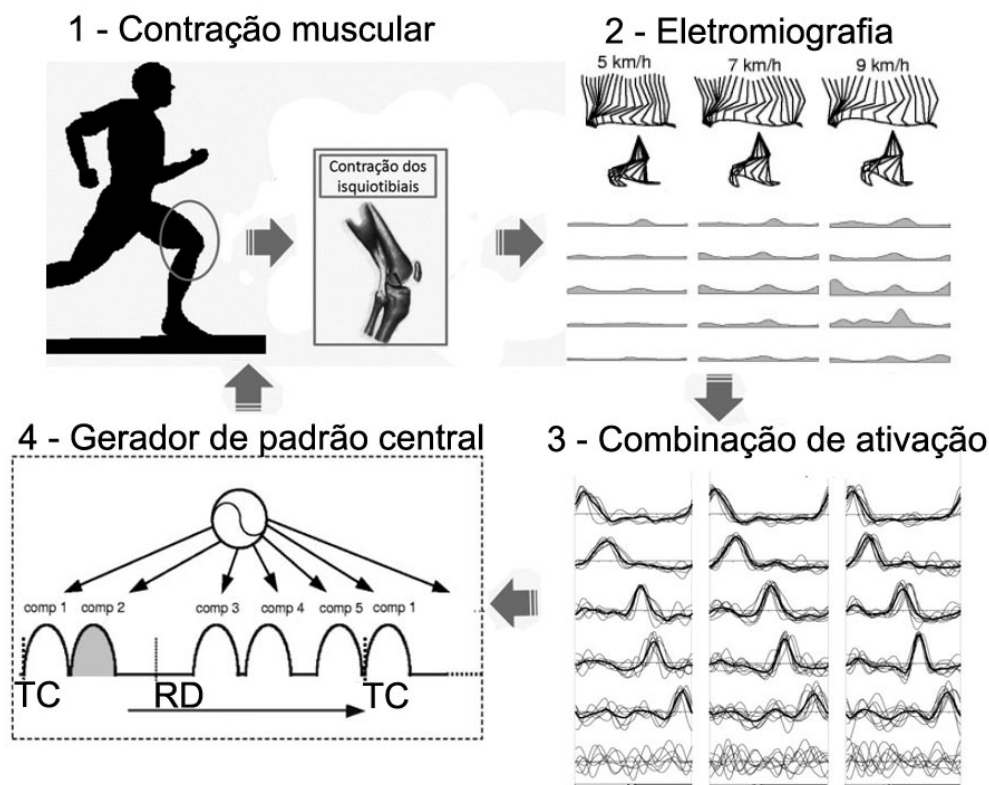
Um exemplo desta abordagem é visto na Figura 1, na qual consta a resposta da análise de 32 músculos diferentes que resultou em um grupo de 5 componentes para a ativação destes músculos. A ativação destes componentes é colocada em relação à ativação do gerador central de padrão (*central pattern generator* - CPG) que comandaria a ativação para a caminhada e corrida.

Na mesma linha de raciocínio os estudos que abordam a cinemetria analisam o padrão de resposta constante para as diferentes articulações entre variados movimentos humanos. Assim, verificam a consistência dos dados e a abrangência do que pode ser considerado comum<sup>13</sup>.

Dessa forma, os estudos ligados a esta linha de raciocínio buscam a consistência ou semelhança nos dados analisados para a verificação ou comprovação do processamento constante da informação, o que leva a suposição da representação no sistema nervoso central de um programa motor generalizado. A partir disso, traçam

os perfis do que é considerado como normal, tem-se então uma distribuição estatística ou variação esperada de um padrão específico.

Inicialmente esta teoria relatava a variabilidade como erro da medida ou falta de aprimoramento no



**Figura 1.** Exemplo da visão do programa motor para a caminhada e corrida

1 – Movimento de correr no detalhe a contração muscular, observação interna do movimento humano. 2 - Dados de eletromiografia para 32 músculos analisados durante a caminhada e corrida. 3 – Componentes de agrupamento para gerar a ativação destes músculos. 4 – Gerador central de padrão com os componentes identificados como geradores do padrão de caminhada e corrida, TC = toque do calcanhar e RD = retirada dos dedos

Fonte: Adaptado de Cappellini *et al.*<sup>2</sup>

movimento. Esta suposição era realizada devido ao padrão de movimento que deveria ser constante, então a variabilidade neste tipo de estudo geralmente era tida como algo a ser reduzido a medida de melhorar o padrão de consistência dos dados. Atualmente esta visão é considerada ultrapassada e a variabilidade entra como uma medida comum dos estudos e necessária para a adaptação do movimento. Mas esta variabilidade deve estar dentro de determinada faixa para cada movimento considerado porque se o seu valor é muito elevado representa ainda uma falta de padrão para o movimento a ser realizado. Esta falta de padrão é relacionada a dois fatores: estágio de aprendizagem ou acometimento/lesão<sup>31</sup>.

A partir desta abordagem pode-se ver que quando o sujeito possui algum problema para o controle motor, ele irá mostrar alguma variável fora do comum e dessa

forma será tratado até esta variável voltar à normalidade. Fica claro que esta abordagem ao problema se dá de forma linear e a terapia será objetivada para solucionar a variável que foi diagnosticada como alterada na avaliação<sup>20</sup>.

#### *Análise dos artigos sobre a teoria dos sistemas dinâmicos*

A partir dos estudos com a teoria dos sistemas dinâmicos é analisada a interação do indivíduo (a partir de suas potencialidades) com o ambiente para determinada tarefa. O movimento sempre surge de um objetivo e vai variar dependendo dele. Assim, temos para determinada situação uma resposta ou um movimento que emergiu a partir destas inter-relações<sup>4,8</sup>.

Com esta análise não é esperada uma consistência nos dados, mas sim uma variação a partir da mudança das interações entre o indivíduo, o ambiente e a tarefa. É

dessa relação que surgem as variáveis para explicar a coordenação na tarefa, mas como existe uma relação estocástica não basta uma análise diagnóstica é preciso termos uma análise ao longo do tempo para podermos relacionar ou relatar o fenômeno a ser investigado<sup>31,8</sup>. No estudo de Krasovsky e Levin<sup>14</sup> podemos encontrar algumas variáveis que podem ser utilizadas como ferramentas de análise para a marcha humana.

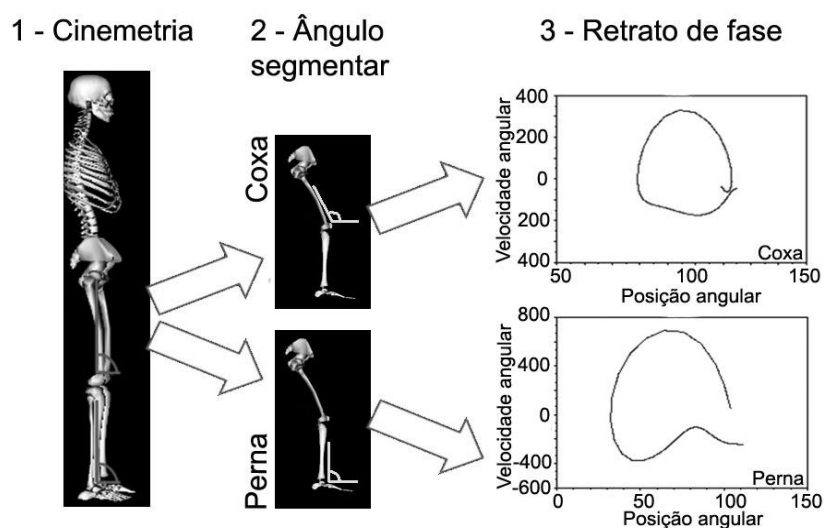
Dentro desta teoria a variabilidade sempre foi algo esperado e o fator que permite a adaptação a uma mudança na tarefa ou ambiente. É a variabilidade o fator que aumenta antes do indivíduo passar de um estado atrator a outro e mudar a maneira de realizar o movimento. Por exemplo, quando aumentamos a velocidade da caminhada, chega um instante que a variabilidade aumenta muito, logo depois o indivíduo prefere correr que caminhar. Assim, neste caso a variabilidade é entendida como algo importante para a adaptação do movimento e o primeiro fator a apontar uma mudança no estado do movimento<sup>17,25</sup>.

Os estudos dentro desta teoria apontam a variabilidade como um contínuo, um ponto entre dois extremos. De um lado esta a pequena variabilidade e a rigidez no movimento o que acarreta numa falta de possibilidade de adaptação do movimento. De outro está a falta de padrão e o movimento será realizado cada vez de um modo diferente<sup>7,8</sup>.

Para realizar essa análise os estudos lançam mão da variável de controle (que causará a mudança nos critérios avaliados), para o caso da marcha é a velocidade, da variável de ordem que mostra a mudança ocorrida), para o caso da marcha pode ser o diagrama de fase ou a fase relativa (Figura 2).

Como esta abordagem não é linear, os estudos e o tratamento realizado a partir desta teoria não se preocupam em diagnosticar o déficit e embasar o trabalho em cima dele. Mas sim, olhar para o indivíduo, suas potencialidades e a partir de mudanças no ambiente e tarefa alterar seu padrão de movimento de forma espontânea e fazer emergir uma adaptação que permita uma maior funcionalidade<sup>6,18,19</sup>.

Quando olhamos para a teoria dos sistemas dinâmicos vemos que um fator alterado pode ser decorrente de inúmeros outros e compensado por ainda outros tantos. Assim, para o desenvolvimento de um problema não basta um pico ou uma variável fora do esperado porque isso pode ser compensado por outro movimento do corpo. Da mesma forma se o paciente não apresenta uma função, além de trabalhar as bases para ela emergir deve-se garantir um meio eficaz do paciente ter a funcionalidade. Este meio eficaz vai ser diferente para cada caso e dependerá das condições do indivíduo, do ambiente e da tarefa<sup>32,34</sup>.



**Figura 2.** Exemplo da visão dos sistemas dinâmicos para a caminhada

Onde: 1 – Método de medição, cinemetria, análise externa ao corpo, 2 – Dados adquiridos da cinemetria: ângulo segmentar e velocidade do movimento, 3 – Exemplo de gráfico de um retrato de fase representativo do movimento de caminhada. Fonte: Dados do laboratório

Assim, nesta abordagem ao paciente o terapeuta se preocupa em cuidadosamente estruturar o ambiente de tratamento ou ensinar o paciente estratégias para otimizar a biomecânica para o movimento<sup>20</sup>.

Com as ferramentas da teoria dos sistemas dinâmicos pode-se ter o necessário para buscar as mudanças no comportamento ao longo do tempo. Estas mudanças representariam o necessário para inferir mudanças decorrentes do tratamento por exemplo e assim ter-se uma teoria aplicada na prática da aprendizagem motora, contexto do artigo de Newell<sup>21</sup> ou na prática do fisioterapeuta.

#### Fatos ainda criticados

Segundo os defensores do PMG esta teoria tem fácil e prática aplicação de como ensinar e o que ensinar para a produção do movimento. Seu entendimento também é relativamente fácil e assim o estudo e teorização fazem-se comuns. Já segundo os defensores desta teoria o mesmo não ocorre com os sistemas dinâmicos, teoria na qual ainda faltam aplicações práticas para extrapolar o mundo dos laboratórios e ganhar aceitação pública<sup>24</sup>. Ainda, para estes pesquisadores fica difícil refutar a hipótese de que não exista algum tipo de representação central para o movimento dada a grande diversidade de movimentos habilidosos apresentada pela raça humana<sup>20</sup>.

Já para os defensores dos sistemas dinâmicos o PMG geralmente aborda estudos onde existe um forte componente cognitivo, ainda, relatam que uma teoria que não leva em conta os aspectos ligados ao ambiente não é completa<sup>5</sup>. Outras críticas correntes são relativas a: a) a análise de um estudo que sempre deveria ser realizada ao longo do tempo e não com uma análise diagnóstica como geralmente é realizada pelo PMG, b) como o indivíduo aprende uma tarefa nova e c) acreditar que não é necessário existir uma representação central para a realização do movimento<sup>21</sup>.

Pode ser relatado que estas duas teorias podem não ser mutuamente exclusivas, acreditando-se que é possível a existência de uma teoria que integre ambos: os fatores cognitivos e dinâmicos. Assim, surgiria uma teoria

conciliatória ou os pesquisadores de cada uma delas olhariam para seus dados de outra maneira. Não há dúvida que existem restrições biomecânicas no processo de controle que contam de forma substancial para um movimento coordenado. Entretanto, não há dúvida que existem fatores ligados ao sistema nervoso que interagem com os fatores biomecânicos e planejam o controle do movimento. Negligenciar um deles em detrimento do outro sem dúvida não auxilia na compreensão de como ocorre a coordenação do movimento<sup>20</sup>. Quando os dois campos principais de controle do movimento concordam somente em discordar, esquecem do principal desafio que é o avanço das teorias científicas<sup>21,24</sup>.

#### Conclusões

O PMG e a teoria dos sistemas dinâmicos, apesar de abordarem o mesmo tema controle motor, o fazem de forma diferente com objetivos distintos. A primeira teoria tenta explicar e aplicar informações sobre o processamento de informações dentro do corpo humano e a segunda visa analisar o surgimento do movimento a partir da relação do ambiente, do indivíduo e da tarefa, sem se preocupar com os processos internos.

No futuro pode ser que ambas se beneficiem com o alargamento destas visões ou uma teoria unificada para o controle motor, na qual o processamento das informações levará em conta a relação entre o indivíduo, ambiente e tarefa e a teoria dos sistemas dinâmicos englobaria o processo interno das informações até a emergência do movimento humano.

#### Referências

1. Alves, R. **Filosofia da ciência: introdução ao jogo e suas regras**. Brasília: Editora Brasiliense, 1981.
2. Cappellini G, Ivanenko YP, Poppele RE, Lacquaniti F. Motor Patterns in Human Walking and Running **J Neurophysiol** 2006;95:3426-34 37.
3. Crenna P, Cuong M, Brénière Y. Motor programmes for the termination of gait in humans: organisation and velocity-dependent adaptation. **J Physiol** 2001;537(3): 1059–1072.
4. Emmerik REA, Wegen, EEH. On Variability and stability in human movement. **J Appl Biomec** 2000;16:394-406.



5. Gonçalves GAC, Gonçalves AK, Junior AP. Desenvolvimento Motor na Teoria dos Sistemas Dinâmicos. **Motriz** 1995;1:8-14.
6. Hamill J, Emmerik REA, Heiderscheidt BC, Li L. A dynamical systems approach to lower extremity running injuries **Clin Biomec** 1999;14:297-308.
7. Hamill J, Haddad JM, Mcdermott WJ. Issues in quantifying variability from a dynamical systems perspective. **J App Biomech** 2000;16:407-418.
8. Heiderscheidt BC. Movement variability as a clinical measure for locomotion. **J Appl Biomec** 2000;16:419-427.
9. Ivanenko YP, Cappellini G, Dominici N, Poppele RE, Lacquaniti F. Coordination of locomotion with voluntary movements in humans. **J Neurosci** 2005;25(31):7238 – 7253.
10. Ivanenko YP, Poppele RE, Lacquaniti F. Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion **J Physiol** 2004;556:267-282.
11. Ivanenko YP, Poppele RE, Lacquaniti F. Motor control programs and walking. **Neuroscientist** 2006;12 (14):339-348.
12. Kelso JAS. From Bernstein's physiology of activity to coordination dynamics. In: **Latash ML. Progress in motor control, Bernstein's traditions in movement studies**. Human Kinetics, EUA, Champaign, 1998.
13. Kerrigan DC, Lee LW, Collins JJ, Riley PO, Lipsitz LA. Reduced Hip Extension During Walking: Healthy Elderly and Fallers Versus Young Adults **Arch Phys Med Rehabi** 2001;82:26-30.
14. Krasovsky T, Levin MF. Review: Toward a Better Understanding of Coordination in Healthy and Poststroke Gait. **Neurorehabil Neural Repair** 2010;24:213-224.
15. Kuhn TS. **A estrutura das revoluções científicas**. 7.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.
16. Lacquaniti F, Grasso R, Zago M. Motor patterns in walking. **News Physiol Sci** 1999;14:168-174.
17. Li L, Bogert ECH, Caldwell GE, Emmerik REA, Hamill J. Coordination patterns of walking and running at similar speed and stride frequency. **Hum Mov Sci** 1999;18:67-85.
18. Miller RH, Meardon SA, Derrick TR, Gillette JC. Continuous Relative Phase Variability During an Exhaustive Run in Runners With a History of Iliotibial Band Syndrome. **J Appl Biomec** 2008;24:262-270.
19. Moraiti C, Stergiou N, Ristanis S, Georgoulis AD. ACL deficiency affects stride-to-stride variability as measured using nonlinear methodology. **Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc** 2007;15:1406-1413.
20. Morris ME, Summers JJ, Matyas TA, Ianssek R. Current status of motor program. **Phys Ther** 1994;74:738-748.
21. Newell KM. Schema Theory (1975): Retrospective and Prospective. **Res Quart Exerc Sport** 2003;74:383-388.
22. Petersen RDS, Catuzzo MT. Estrutura coordenativa: a unidade de estudo da coordenação e do controle no comportamento humano. **Movimento** 1995;3:43-50.
23. Pool R. It is healthy to be chaotic. **Science** 1989;243:604-607.
24. Popper K. **The Logic of Scientific Discovery**. Nova York, Harper and Row, 2002.
25. Schmidt R. Motor schema theory after 27 years: reflection and implications for a new theory. **Res Quart Exerc Sport** 2003;74:366-375.
26. Scholz JP. Dynamic pattern theory – some implications for therapeutics. **Phys Ther** 1990;70:827-843.
27. Schoner G, Kelso JAS. Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. **Science** 1988;239:1513-1520.
28. Shea CH, Wulf G. Schema theory: a critical appraisal and reevaluation. **J Motor Behavior** 2005;37:85-101.
29. Sherwood DE, Lee TD. Schema theory: critical review and implications for the role of cognition in a new theory of motor learning. **Res Quart Exerc Sport** 2003;74:376-382.
30. Smith BWH. Chaotic Family dynamics. **Arch Fam Med** 1994;3:231-238.
31. Stergiou N, Bates BT. The relationship between subtalar and knee joint function as a possible mechanism for running injuries. **Gait Post** 1997;6:177-185.
32. Stergiou N, Jensen JL, Bates BT, Scholten SD, Tzetzis G. A dynamical systems investigation of lower extremity coordination during running over obstacles. **Clin Biomec** 2001;16:213–221.
33. Tani G. **Comportamento Motor Aprendizagem e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
34. Wagenaar RC, Emmerik REA. Dynamic of movement disorders. **Hum Mov Sci** 1996;15:161–175.