

**Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Humano e Tecnologias
(Linha de pesquisa: Tecnologias e Desempenho Humano)**

**Modulação do Sistema Nervoso Autônomo de crianças
com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação**

Daniel Traina Gama



**Rio Claro
Janeiro/2014**

**Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Humano e Tecnologias
(Linha de pesquisa: Tecnologias e Desempenho Humano)**

**Modulação do Sistema Nervoso Autônomo de crianças
com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação**

Daniel Traina Gama

Orientadora: Profa. Dra. Ana Maria Pellegrini

Co-orientadora: Profa. Dra. Cynthia Y. Hiraga

Tese apresentada ao Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para a Defesa de Tese do Curso de Pós-Graduação, nível de Doutorado, em "Desenvolvimento Humano e Tecnologias" Linha de Pesquisa "Tecnologias e Desempenho Humano".

Rio Claro

Janeiro/2014

Dedico este trabalho as pessoas me iluminaram
Meus pais pelo amor, o mais sublime dos sentimentos
Minha orientadora pelo conhecimento em 10 anos de ensinamentos

RESUMO

A modulação do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) tem papel fundamental nos processos do desenvolvimento humano. No entanto, a modulação do SNA de crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC) não tem sido explorada pelos pesquisadores. O objetivo do presente estudo foi verificar o envolvimento e/ou papel do SNA nas dificuldades apresentadas por crianças com TDC através de análises da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC). Análises espectral, simbólica e da entropia condicional da VFC de crianças com TDC foram comparadas com a de crianças com DT nos seguintes contextos: (1) teste com de mudança de postura ativa, da posição supino (deitada) para a ortostática (em pé) e (2) em diferentes etapas de realização de uma tarefa motora, em específico durante recebimento de instrução, prática e avaliação. Os resultados obtidos no teste com mudança de postura ativa indicaram que as crianças TDC apresentam adaptações adequadas de modulação autonômica em repouso nas posições posturais básicas, semelhantes ao grupo com DT. Os resultados da análise da VFC durante as etapas de realização da tarefa motora indicaram que durante a prática as crianças com DT apresentam modulação parassimpática significativamente mais alta do que a apresentada pelas crianças com TDC. Durante a etapa de avaliação, as crianças com DT apresentou diminuição da modulação parassimpática, se aproximando ao padrão de modulação do grupo de crianças com TDC. Portanto, as adaptações sistêmicas neurofisiológicas das crianças com TDC durante a prática de tarefa motora e as adaptações sistêmicas neurofisiológicas de ambos os grupos durante a avaliação não foram adequadas às demandas de desempenho motor ao longo do processo de aprendizagem.

Palavras-chave: Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC); Sistema Nervoso Autônomo; Sistema Nervoso Central; Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC); Aprendizagem e desempenho motor.

ABSTRACT

Modulation of the Autonomous Nervous System (ANS) plays an important role in the processes of human development. However, the ANS modulation in children with Developmental Coordination Disorder (DCD) has not been explored by researchers. The goal of this study was to verify the involvement and/or the role of the Autonomous Nervous System related to children with DCD issues through the analysis of Heart Rate Variability (HRV). Spectral, symbolic and conditional entropy analyses of HRV of DCD children were compared to the Typically Developed (TD) children in the following context: (1) Testing for active postural changes, from supine to orthostatic position and (2) in different stages of a motor task, specifically during instruction, practice and assessment. The test results with active postural changes indicated that children with DCD have adequate autonomous modulation while resting in basic posture positions, similarly to TD children. HRV results during different stages of the motor task indicated that, during practice, TD children showed parasympathetic modulations significantly higher than the ones showed by DCD children. During assessment, TD children reduced parasympathetic modulation closer to the modulation pattern of children with DCD. Therefore, DCD children's neurophysiologic systemic modulation during motor task practice and both groups (TD and DCD) neurophysiologic systemic modulation during motor task assessment were not adequate to the motor performance demands throughout learning process.

Keywords: Developmental Coordination Disorder (DCD), Autonomous Nervous System, Central Nervous System, Heart Rate Variability (HRV), Motor Learning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Modelo adaptado de reorganização e plasticidade cerebral ocorrida durante a aprendizagem de habilidades motoras.....	17
FIGURA 2 - Tacograma de duas séries temporais de intervalos R-R de crianças, sendo que (a) apresenta grande quantidade de oscilações de alta frequência e (b) apresenta grande quantidade de oscilações de baixa frequência.....	42
FIGURA 3 – Fluxograma da seleção da amostragem do estudo.....	61
FIGURA 4 – Análise espectral da VFC em crianças com DT e DT em teste com mudança de postura ativa.....	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Participantes do estudo quanto ao gênero, idade e coordenação motora, desempenho no M-ABC	57
TABELA 2 - Índice de Massa Corpórea (IMC) e da Potência aeróbia (VO ₂ pico) das crianças participantes do estudo.	59
TABELA 3 - Características dos Grupos de crianças com TDC e com DT quanto ao gênero, idade, desempenho no M-ABC-2, avaliação do Índice de Massa Corpórea (IMC) e da potência aeróbia (VO ₂ pico) e resultados do M-ABC2 por componente.	61
TABELA 4 - Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) de ambos os grupos em teste com mudança de postura ativa, da posição em supino (deitada) para a posição ortostática em pé do grupo de crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC) e do grupo de crianças com Desenvolvimento Típico (DT).....	74
TABELA 5 - Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) de ambos os grupos durante as etapas de realização de tarefa motora e do Desempenho da Tarefa Motora do grupo de crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC) e do grupo de crianças com Desenvolvimento Típico (DT)	80

Sumário

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	12
3 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 Aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras	13
2.2 O Sistema Nervoso Central (SNC) e o Periférico Somático (SNPS).....	18
2.3 Sistema Nervoso Autônomo - SNA	24
2.4 Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação - TDC	30
2.5 Variabilidade da Frequência Cardíaca	40
2.6 Considerações neurofisiológicas e comportamentais do TDC.....	52
5 MÉTODO	55
5.1 Fase 1 – Recrutamento, Identificação e caracterização das crianças participantes do estudo	55
5.1.1 Participantes	56
5.1.2 Materiais.....	56
5.1.3 Avaliação da coordenação motora (M-ABC-2)	56
5.1.4 Avaliação antropométrica e da potência aeróbia	57
5.1.5 Formação dos grupos de crianças com TDC (Grupo TDC) e de crianças com DT (Grupo DT) pareados	60
5.2 Fase 2 - Modulação autonômica do Sistema Nervoso Autônomo em crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação em repouso com mudança de postura ativa	62
5.2.1 Participantes	62
5.2.3 Materiais.....	62
5.2.4 Procedimentos	63
5.2.5 Avaliação da Variabilidade da Frequência Cardíaca com mudança de postura ativa.....	64
5.3 Fase 3 - Modulação autonômica em crianças com TDC durante a realização de tarefa motora	66
5.3.1 Participantes	66
5.3.2 Materiais.....	66
5.3.4 Tarefa Motora.....	66
5.3.5 Modulação autonômica em crianças com TDC em repouso na posição sentada	68
5.3.6 Modulação autonômica em crianças com TDC durante o recebimento de instrução para execução da tarefa motora.....	68
5.3.7 Modulação autonômica em crianças com TDC durante a realização prática da tarefa motora.	69
5.3.8 Modulação autonômica em crianças com TDC durante a realização da avaliação da tarefa motora.	69
5.4 Análise dos dados	70
5.5 Tratamentos estatístico	72

6 RESULTADOS	74
6.1 Modulação autonômica em crianças com TDC em repouso com mudança de postura ativa	74
6.3 Modulação autonômica em crianças com TDC durante as etapas da realização de uma tarefa motora	79
7 DISCUSSÃO	85
7.1 Modulação do Sistema Nervoso Autônomo em crianças com mudança de postura ativa	86
7.2 Modulação do Sistema Nervoso Autônomo em crianças com TDC durante as etapas de realização de tarefa motora	89
7.3 Limitações e considerações do presente estudo.....	97
8 CONCLUSÃO	100
REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

Dificuldades motoras em indivíduos sem déficit intelectual e/ou neurológico aparente vêm sendo observadas e descritas desde o começo do século passado (DENCKLA, 1984; NAVILLE, 2005) quando E. Dupré, em 1907, observou que pacientes com dificuldades motoras também apresentavam problemas emocionais e, em 1911, publicou as primeiras descrições de indivíduos com dificuldades psicomotoras no desempenho de tarefas comuns para a maioria das pessoas. Dentre estas tarefas comuns, podem ser destacadas as do dia-a-dia tais como andar de bicicleta, brincar com bola, pular corda. De acordo com Sugden e colaboradores (2008), na infância, crianças com dificuldades motoras demoram mais para atingir marcos motores do que seus pares sem tais dificuldades.

De acordo com o “Manual Diagnóstico Estatístico de Transtornos Mentais da Associação Psiquiátrica Americana – DSM-IV” (2002), as crianças com tais dificuldades motoras são identificadas com o Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC). Interessados em identificar as causas e os processos relativos às dificuldades motoras de crianças com TDC, estudiosos apontam problemas no acoplamento entre percepção e ação como possível origem da dificuldade na execução de tarefas motoras por crianças com TDC (WHITALL *et al.*, 2006). As crianças com TDC apresentam pobre desempenho em tarefas de equilíbrio postural em situações imprevistas (GEUZE, 2005), na locomoção (DECONINCK *et al.*, 2006), e em tarefas de alcance rápido e repetitivo a um alvo como na tarefa de Fitts, com auxílio de feedback visual (SMITS-ENGELSMAN *et al.*, 2003). Além disso, existem evidências reportadas na literatura de que crianças

com TDC, quando comparadas com crianças sem TDC, apresentam problemas na modulação da força e torque isométrico, presentes em tarefas que envolvem coordenação e controle (OLIVEIRA, M. A.; CLARK; KING, 2012; OLIVEIRA, M. A. et al., 2006).

Embora dificuldades de coordenação e controle em crianças com TDC tenham sido detectadas em nível de análise comportamental, pouco ainda se sabe sobre as causas e os processos subjacentes a estas dificuldades. O referencial teórico do presente trabalho foi construído a partir das estruturas subjacentes da aprendizagem, produção de ações motoras coordenadas e ao controle de estruturas coordenativas responsáveis pelos ajustes às demandas do ambiente. Inicialmente, será apresentada a organização estrutural e funcional do Sistema Nervoso Central (SNC), do Sistema Nervoso Periférico Somático (SNPS) e do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) ou também chamado Sistema Nervoso Periférico Visceral (SNPV). Posteriormente, o foco será a forma como o sistema nervoso, como um todo, desempenha papel fundamental no comportamento motor habilidoso.

O presente estudo focaliza em específico a atuação do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) na aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras de crianças que apresentam dificuldade de coordenação motora e, portanto, o Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação. O SNA é formado por uma extensa rede de neurônios periféricos que comanda todo um conjunto articulado de funções vitais do organismo garantindo o equilíbrio e as adaptações necessárias frente às demandas fisiológicas específicas de cada tarefa e/ou contexto (GUYTON; HALL, 2006). Os dois componentes do SNA, o simpático e o

parassimpático, operam em paralelo e ao mesmo tempo de forma antagônica e complementar no controle da musculatura estriada do coração e dos músculos lisos. O desequilíbrio na modulação do SNA pode provocar alterações significativas na dinâmica de funcionamento dos vários sistemas. Pode afetar, por exemplo, a dinâmica do sistema cardíaco, do sistema endócrino, do sistema nervoso central e do periférico. Estas alterações são críticas para a aprendizagem, coordenação e controle motor (METZ, 2007) e podem estar relacionadas a desordens associadas apresentadas por crianças com TDC.

De modo geral, crianças com TDC também apresentam dificuldades psicossociais tais como estresse, ansiedade e depressão (PIEK et al., 2008; SKINNER; PIEK, 2001) e estas dificuldades podem estar relacionadas à dinâmica de funcionamento do SNA. Embora a modulação do SNA apresente papel fundamental nos processos básicos de desenvolvimento humano, a modulação do SNA de crianças com TDC não tem sido estudada pela comunidade científica que focaliza principalmente os aspectos comportamentais e os processos cognitivos do SNC destas crianças. Portanto, o presente estudo tem como objetivo verificar o envolvimento e/ou o papel do SNA nas dificuldades apresentadas por crianças com o Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC).

2 OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo verificar o envolvimento e/ou papel do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) nas dificuldades apresentadas por crianças com o Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC). Em específico, comparar a modulação do SNA de crianças com TDC com crianças com Desenvolvimento Típico em condições básicas durante o repouso e durante o desempenho de tarefa motora.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Tendo em vista o objetivo do presente estudo, a revisão da literatura focalizará os seguintes tópicos: Aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras; Sistema Nervoso Central (SNC) e Periférico Somático (SNPS); O Sistema Nervoso Autônomo – SNA; Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação – TDC; e a Variabilidade da Frequência Cardíaca.

2.1 Aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras

Em 1985, Newell retoma um trabalho de grande impacto na área de coordenação e controle de ações motoras, divulgado por Turvey, Kugler e Kelso (1980; 1982), a partir das proposições do fisiologista russo Nikolai Bernstein. Para estes autores, a coordenação de uma ação motora diz respeito a função que restringe todo o potencial de atuação dos elementos que compõem uma unidade comportamental, ou seja, restringe as possibilidades de atuação desta unidade comportamental em função de um objetivo específico. A coordenação garante homogeneidade, integração e unidade estrutural em uma ação motora pois ela determina a forma e especifica os elementos que estarão envolvidos na execução da ação. Por exemplo, no SNC a coordenação se refere aos neurônios que desencadeiam a ação e como eles se relacionam para a execução de uma ação específica. O controle nas ações motoras diz respeito a parametrização e/ou atribuição de valores aos elementos que constituem a unidade estrutural. No SNC, o controle determina a frequência e *timing* de disparo dos potenciais de ação dos neurônios envolvidos na ação. Para que uma ação motora ocorra com

sucesso é necessário que valores específicos sejam atribuídos às variáveis controladas.

A unidade estrutural, responsável pela coordenação e controle de uma determinada ação motora, contém um número maior de variáveis do que o necessário para o desempenho de tal ação. Esta característica garante abundância de possibilidades para resolver problemas que possam emergir durante o desempenho motor, podendo assim levar ao alcance de objetivos comuns com a utilização de diferentes variáveis (CARMENA et al., 2005; LATASH; SCHOLZ; SCHONER, 2002). Segundo esses autores, a abundância do sistema é extremamente importante, pois garante um alto potencial de flexibilidade e adaptação do sistema para desempenhar ações motoras em diferentes contextos, através da aprendizagem motora.

A aprendizagem motora se refere a melhorias relativamente estáveis e permanentes, resultadas da prática, na capacidade de execução de uma tarefa motora (MAGILL; ANDERSON, 2007), sendo que o processo de aprendizagem motora ocorre em estágios ao longo da prática (ADAMS, 1971; GENTILE, 1972; SCHMIDT, 2008). Para Pellegrini (2000), a prática se refere a uma atividade organizada de repetição de uma mesma tarefa ou ação motora que tem como objetivo a melhora do desempenho. A autora ressalta ainda que durante o processo de aprendizagem de uma nova tarefa motora, o comportamento do aprendiz se modifica em função da prática ao longo dos seguintes estágios:

- (i) Inexperiente – busca a identificação das características invariantes, estrutura da tarefa motora; esta busca faz com que o aprendiz aumente muito a variabilidade da resposta na tentativa de encontrar a melhor

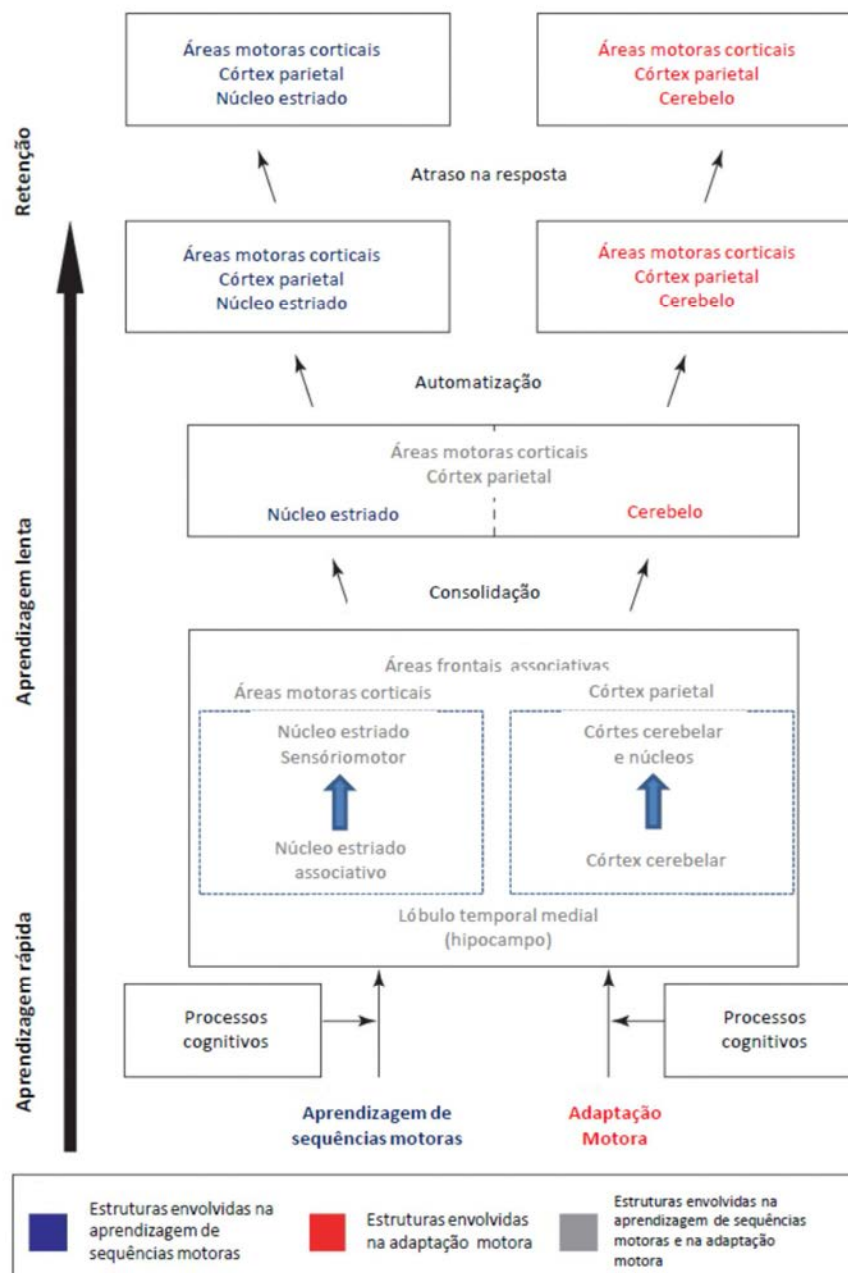
solução de resposta, com movimentos que parecem descoordenados e sem fluência; este estágio da aprendizagem é caracterizado principalmente por muitos erros sendo que os acertos muitas vezes ocorrem ao acaso.

- (ii) Intermediário – à medida que o aprendiz executa a ação motora repetidas vezes, movimentos desnecessários vão sendo eliminados com consequente economia de energia e tempo; detalhes da tarefa, antes ignorados no estágio anterior, passam a ser percebidos aumentando o refinamento da resposta; a variabilidade das respostas diminui consideravelmente dando lugar a um padrão mais estável do comportamento; os erros passam a diminuir e a confiança na resposta motora a aumentar.
- (iii) Avançado – o aprendiz passa a ter certeza de como deve responder para atingir a meta da ação motora, realizando-a com o mínimo gasto energético e no menor tempo; a ação motora é realizada com graça, beleza e eficiência e com um mínimo de atenção; o padrão motor se torna relativamente estável, variando somente em função das demandas ambientais para o alcance da meta da tarefa.

Outra abordagem teórica centrada na reorganização e plasticidade cerebral ocorrida durante a aprendizagem de habilidades motoras foi apresentada por Doyon e Ungerleider (2002) e revisada por Doyon e Benali (2005), baseada em resultados de estudos realizados através de técnicas de neuroimagem durante o processo de prática e retenção de novas habilidades (Figura 1). Neste modelo são consideradas as neuroplasticidades ocorridas nos sistemas córtico-estriado e córtico-cerebelar durante o processo de aprendizagem de novas sequências de

movimento (aprendizagem de sequência de movimento) e de adaptação frente às perturbações ambientais durante a execução de ações motoras (adaptação motora). O modelo propõe que, durante a aprendizagem de tarefas de sequência de movimento e de tarefas com demanda de adaptação motora, processos cognitivos de estruturas cerebrais similares são necessários: do núcleo estriado, do cerebelo, de áreas motoras corticais, além do córtex pré-frontal, parietal e região límbica. A interação dinâmica e a plasticidade nas relações destas estruturas parecem ser cruciais para o estabelecimento de rotinas necessárias para desencadear o processo de aprendizagem motora. A partir do momento que a ação motora habilidosa se consolida, o desempenho tende a se tornar automatizado. Neste estágio de consolidação, a atividade do sistema córtico-estriado é essencial para as tarefas que envolvem sequência de movimentos e a atividade do sistema córtico-cerebelar essencial para a adaptação motora.

FIGURA 1 - Modelo adaptado de reorganização e plasticidade cerebral ocorrida durante a aprendizagem de habilidades motoras.



Fonte: Doyon e Benali, 2005.

A aprendizagem, a coordenação e o controle de ações motoras resultam da intrínseca relação entre o Sistema Nervoso Central, o Sistema Nervoso

Periférico Somático e o Sistema Nervoso Autônomo, cada um deles desempenhando papel relevante para a execução destas tarefas. Estes sistemas estão concatenados de tal forma que a atuação de um pode interferir diretamente na atuação dos outros. A seguir, será apresentada uma revisão dedicada à contribuição de cada um destes sistemas na aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras.

2.2 O Sistema Nervoso Central (SNC) e o Periférico Somático (SNPS)

A medula espinhal e o encéfalo constituem o SNC. O encéfalo adulto é subdividido em medula oblonga, ponte, cerebelo, mesencéfalo, tálamo, hipotálamo, subtálamo, núcleos da base e os lobos do córtex cerebral. No córtex cerebral, as áreas consideradas motoras são: a área motora primária (M1) que ocupa o giro pré-central do lobo frontal; a área motora suplementar (AMS) que está localizada rostral e dorsalmente a M1; a área pré-motora (APM) que está localizada rostral e lateralmente a M1; e a área motora cingulada (AMC) que está localizada na face média do córtex acima do corpo caloso (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2009).

Os processos cognitivos do SNC são essenciais para a aprendizagem, coordenação e controle motor em tarefas de equilíbrio e postura, e no desempenho de ações motoras. Pesquisas atuais indicam que a execução dos movimentos envolve uma complexa e recíproca comunicação de múltiplas regiões do sistema nervoso (POCKETT, 2006). A coordenação e controle dos movimentos envolve, ainda, os campos frontais da visão, o córtex parietal posterior, o córtex dorsolateral pré-frontal, os gânglios da base, o tálamo, o

cerebelo, grande parte da medula espinhal, áreas somato-sensoriais, visual, auditiva e várias partes do sistema límbico (POCKETT, 2006).

O córtex parietal posterior e o pré-frontal também desempenham papel central na execução de ações motoras. Estes lobos são interconectados e “parecem” desempenhar papel fundamental no pensamento abstrato, na tomada de decisão e na antecipação das consequências das ações. O córtex pré-frontal é responsável pelo planejamento de ações complexas, sendo que nele são determinados os objetivos das ações motoras. Para cumprir esta função, o córtex pré-frontal envia projeções de axônios para o córtex pré-motor que produz a sequência de movimentos complexos para atingir a meta da tarefa. Os detalhes dos movimentos são especificados pelo córtex motor primário, responsável pela execução das ações motoras (KOLB; WHISHAW, 2009).

Além das conexões intra-corticais, as áreas do córtex motor APM, AMS e M1 recebem projeções do cerebelo, dos gânglios da base e dos sistemas sensoriais periféricos que são ligados ao córtex através dos núcleos talâmicos. O cerebelo atua como coordenador, garantindo homogeneidade na ação executada, para construção da unidade estrutural da ação. O cerebelo também faz ajustes nos movimentos no caso de imprevisibilidade, promovendo adaptações necessárias em consequência da chegada de informações sensoriais oriundas do próprio desempenho. A partir do córtex cerebral, os gânglios da base recebem informação para fazer a regulação, parametrização e especificação dos elementos da ação motora, contribuindo também nas funções cognitivas e afetivas do comportamento (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007).

Ainda para Bear, Connors e Paradiso (2007), os Sistemas Modulatórios de Projeção Difusa (SMPD) também são importantes na coordenação e controle de ações motoras, pois modulam um grande número de células neuronais pós-sinápticas para torná-las mais ou menos excitáveis. Com poucos milhares de neurônios, seus núcleos se encontram na porção central do encéfalo, sendo a maioria no tronco encefálico. Um único neurônio dos SMPD pode influenciar muitos outros porque envia projeções a mais de cem mil neurônios pós-sinápticos distribuídos pelas regiões do encéfalo. As sinapses destes neurônios liberam neurotransmissores de modo que estes se difundam no meio extracelular de muitos neurônios, ao invés de ficarem confinados à fenda sináptica de suas conexões. Portanto, em contato com estas moléculas de neurotransmissores, os neurônios podem ter sua atividade influenciada e/ou modulada pelos SMPD.

O *locus ceruleus* noradrenérgico é um dos SMPD que projeta axônios a praticamente todas as partes do encéfalo. Estas conexões ocorrem através de feixes celulares espalhados pelo córtex cerebral, tálamo, hipotálamo, bulbo olfatório, cerebelo, mesencéfalo e medula espinhal. O locus ceruleus está envolvido em funções como a regulação da atenção, do estado de alerta e dos ciclos sono-vigília, aprendizagem e memória, ansiedade e dor, humor e metabolismo cerebral. Suas células disparam em resposta a estímulos novos, inesperados e não dolorosos. Quando em equilíbrio no tecido cortical, a noradrenalina (NA), neurotransmissor secretado pelo locus ceruleus, pode tornar o córtex cerebral mais responsivo, aumentando a capacidade de processamento de informação pelos sistemas sensorial e motor, tornando-os mais eficientes (BEAR *et al.*, 2007). A substância nigra dopaminérgica e a área tegmentar ventral

também fazem parte do SMPD e são de especial interesse para o presente estudo, pois ambas são áreas dopaminérgicas.

A dopamina é um neurotransmissor de grande relevância no SNC e está diretamente relacionado à coordenação e controle de ações motoras. Por exemplo, o desequilíbrio dopaminérgico em áreas como dos gânglios da base pode ser crucial para geração de problemas no controle motor. A falta de dopamina acarreta dificuldades de controle e o excesso, por sua vez, também pode provocar uma disfunção e/ou neuro-degeneração dos neurônios dopaminérgicos (METZ, 2007).

A substância nigra no mesencéfalo é formada por corpos celulares dos neurônios e projeta seus axônios ao núcleo caudado e putâmen para atuarem na facilitação do início de ações motoras. Esta área tem sido amplamente estudada, tendo em vista o impacto na degeneração e déficit das células da substância nigra, principais causas da Doença de Parkinson (DP). Esta doença está associada a distúrbios motores como tremor, dificuldades inibitórias de movimento, lentidão para iniciar e executar movimentos, além de outros déficits. A área tegmentar ventral dopaminérgica envia projeções de axônios para o córtex frontal e para o sistema límbico e está associada à recompensa e reforço de comportamentos adaptativos, tal como a aprendizagem de novas habilidades (BEAR et al., 2007; GUYTON; HALL, 2006).

O planejamento motor envolve os processos cognitivos acima descritos, de modo que as células da área M1 ou córtex motor primário disparam potenciais de ação para execução de ações motoras. Após o planejamento motor, os axônios

corticoespinhais que partem da M1 disparam potenciais de ação em direção à medula espinhal. Algumas destas fibras se comunicam com núcleos celulares localizados na ponte que, por sua vez, envia projeções de volta para o cerebelo como retroalimentação para posteriores ajustes. A maioria das fibras que partem da M1 continua seu caminho descendente para formar as pirâmides bulbares e, posteriormente, o feixe corticoespinhal descendente. Na medula espinhal e no feixe lateral, estes axônios fazem sinapses com os neurônios motores alfa que partem da medula para os músculos esqueléticos, responsáveis pela produção do movimento (BEAR et al., 2007; GAZZANIGA et al., 2009).

O Sistema Nervoso Periférico Somático (SNPS) é constituído por todos os nervos que inervam a pele, articulações e músculos que estão sob o controle do SNC. O SNPS é dividido em eferente e aferente. A parte eferente tem os corpos celulares dos seus neurônios localizados na medula espinhal e são denominados neurônios motores alfa. Tais neurônios fazem conexões na medula espinhal controlando a ativação dos músculos esqueléticos. A parte aferente tem os corpos celulares de seus neurônios localizados nos gânglios da raiz dorsal, fora da medula espinhal. Estes neurônios são responsáveis por inervar e coletar informações da pele, músculos e articulações e enviá-las ao SNC (BEAR et al., 2007; GUYTON; HALL, 2006).

O SNPS é determinante na coordenação e controle de ações motoras uma vez que todo o contato do organismo com o meio exterior é realizado a partir deste sistema. As informações sensoriais captadas pelos neurônios aferentes do SNPS, por exemplo, fornecem informações que serão decodificadas no SNC para a tomada de decisão e/ou ajustes das ações motoras em execução.

Ao longo dos anos, muitos estudos foram dedicados à compreensão de como o sistema nervoso atua para controlar os movimentos e um grande avanço ocorreu nos anos 80 quando Georgopoulos e colaboradores (1984; 1982; 1988; 1988; 1988) publicaram uma série de artigos sobre o controle dos movimentos em primatas a partir da frequência de disparos de potenciais de ação de células individuais do M1. Os pesquisadores verificaram que o padrão de frequência de disparo das células em M1 é relativamente simples considerando que elas estão envolvidas em uma complexa sinergia muscular para geração de movimentos. No entanto, o perfil da frequência de disparos da grande maioria destas células (83,6%), se altera em função da direção dos movimentos executados no espaço por um determinado membro superior comandado por estes neurônios. Em outras palavras, a frequência de disparo de uma determinada célula é maior em uma específica direção do movimento, a chamada “direção preferida” da célula, e menor nas outras direções.

Uma das principais contribuições destes estudos diz respeito a importante descoberta de que populações celulares se envolvem de forma codificada para determinar a direção do movimento. Dessa forma, a direção do movimento depende da intrínseca relação entre estas células, sendo que algumas atuam com uma frequência de disparo maior e outras com frequência menor em diferentes direções do movimento. Portanto, a direção do movimento somente pode ser determinada a partir de uma função do perfil de ativação da população neuronal envolvida.

A coordenação e controle dos movimentos resultam da ativação concorrente de populações de neurônios distribuída em diferentes níveis do

neuro-eixo e todas as partes envolvidas nesta ativação desempenham papel fundamental e indispensável (NICOLELIS; LEBEDEV, 2009). No entanto, somente a verificação do perfil de ativação de múltiplos neurônios em áreas específicas do SNC não explica totalmente a aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras. São necessárias ainda considerações sobre a situação em que as ações motoras são desempenhadas, principalmente, em relação aos domínios social e psicológico. Nestes contextos, alterações autonômicas, comandadas pelo SNA, desempenha papel fundamental na determinação da resposta motora.

2.3 Sistema Nervoso Autônomo - SNA

O SNA ou Sistema Neurovegetativo (SNV) é formado por uma extensa rede neural amplamente distribuída. Em específico, o SNA comanda todas as funções vitais do organismo para garantir equilíbrio e adaptações necessárias frente às demandas fisiológicas e ambientais (GUYTON; HALL, 2006). É responsável, por exemplo, pela mobilização das reservas energéticas providenciando energia em situações de luta ou fuga; pela regulação da temperatura corporal através das glândulas sudoríparas em ambientes de muito calor; no controle da frequência cardíaca e da pressão arterial diante das demandas corporais; entre outras. Todas estas funções podem ser desempenhadas uma vez que o SNA tem duas divisões, a divisão simpática e a parassimpática que atuam normalmente de modo paralelo, de maneira antagônica e complementar.

De interesse para o presente estudo são as relações entre o funcionamento do SNA e do Sistema Nervoso Central (SNC) nos processos de aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras. Por exemplo, o estresse cognitivo é uma situação que pode influenciar diretamente o funcionamento do SNA e SNC, com consequências no desempenho motor. O estresse é uma adaptação do organismo em resposta a uma experiência negativa em preparação à luta ou fuga. Os mecanismos do SNA simpático, desencadeadores do estresse, ativam o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HHA) e promovem a secreção de hormônio liberador de corticotropina (CRF) pelo hipotálamo. A corticotropina, por sua vez, ativa a liberação do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) pela glândula hipófise anterior. Ao atingir o tecido cortical das glândulas adrenais, este hormônio estimula a secreção do hormônio primário do estresse, o cortisol (YVONNE; JAMES, 2009). O cortisol é uma molécula lipofílica que se dissolve facilmente na membrana lipídica da barreira hematoencefálica para cruzá-la rapidamente e atingir as células nervosas do encéfalo (BEAR et al., 2007; OITZL et al., 2010).

No encéfalo, o cortisol se liga a receptores esteroides intracelulares específicos, chamados receptores esteroides glicocorticoides, presentes em neurônios do córtex motor, do cerebelo e dos gânglios da base. Como visto anteriormente, estas estruturas estão diretamente envolvidas na coordenação e controle de ações motoras. Os receptores esteroides glicocorticoides, descritos por Reul e De Kloet (1985), regulam os efeitos do cortisol. À medida que a concentração plasmática de cortisol aumenta e os receptores de glicocorticoides ficam altamente ocupados e saturados, estes receptores diminuem sua

capacidade de controle e inibição da corticotropina por retroalimentação negativa no sistema límbico (JOËLS *et al.*, 2008). Tais efeitos ocorrem quando a exposição ao cortisol é duradoura e durante o estado de estresse crônico.

Esta condição com aumento da concentração plasmática de cortisol duradoura está associada à disfunção e/ou morte destas células nervosas habitadas por receptores glicocorticoides (DE KLOET; JOËLS; HOLSBOER, 2005; OITZL *et al.*, 2010; YVONNE; JAMES, 2009). Um estudo realizado com macacos babuínos (SAPOLSKY; KREY; MCEWEN, 1986) revelou que o estresse crônico levou-os a morte apresentando úlceras gástricas, hipertrofia das glândulas adrenais e extensa neuro-degeneração em seus hipocampos, de modo que estas características reforçam os efeitos danosos do excesso de cortisol no tecido nervoso.

Em revisão de literatura sobre a regulação neuronal em resposta ao estresse, Yvonne e James (2009) destacam respostas neuro-plásticas de algumas regiões envolvidas no controle do estresse frente ao estresse crônico. No hipotálamo e no córtex pré-frontal medial ocorre uma atrofia dos dendritos e diminuição da expressão dos receptores glicocorticoides, fazendo com que a ativação do eixo do estresse hipotálamo-hipófise-adrenal (HHA) não cesse ou diminua sua atividade. Os efeitos do estresse crônico ocorrem: no hipocampo incluindo a diminuição da memória; na amígdala basal-lateral incluindo aumento na expressão e liberação da corticotropina que, por sua vez, aumentará a atividade do eixo HHA; no núcleo talâmico paraventricular, aumento da atividade do eixo HHA para novas situações de estresse e diminuição da excitabilidade do eixo HHA para situações de estresse familiares ao indivíduo.

O locus ceruleus também é afetado com o estresse. Nesta estrutura, ocorre aumento da liberação de neurotransmissor dopamina e aumento da excitabilidade mediada por projeções ao córtex e ao hipocampo. Estas estruturas hiperativadas aumentam a excitabilidade do eixo HHA em novas situações de estresse. No núcleo paraventricular do hipotálamo ocorre aumento da resposta ao estresse e diminuição da expressão dos receptores glicocorticoides, o que também resulta em aumento da excitabilidade a novas situações de estresse.

As alterações acima descritas podem interferir de maneira significativa no desempenho de ações motoras habilidosas, pois os desequilíbrios provocados pelo estresse alteram negativamente a configuração e a dinâmica entre os elementos envolvidos na produção de ação motora. Em estudos com ratos foi verificado que a exposição aguda ao cortisol leva a uma hiperatividade e a exposição crônica leva a uma apatia ou baixa atividade motora (METZ, 2007). Através de técnicas de neuroimagem, Hermans e colaboradores (2011) verificaram, em indivíduos adultos, que o cérebro se torna hiperativo em comportamento aversivo, de estresse e ansiedade desencadeados por mecanismo noradrenérgico.

No desempenho de habilidades motoras finas e complexas de segurar e manipular objetos, indivíduos em condição de estresse apresentaram menor precisão, tempo de reação prolongado e menor tempo de movimento (HAINAUT; BOLMONT, 2005; MIYAMOTO, 2010; NAVARRO et al., 2012; VAN GALEN; VAN HUYGEOORT, 2000; VANGEMMERT; VANGALEN, 1997). Estes autores observaram que em tarefas simples, o estresse pode até contribuir para melhoria no desempenho no tempo de reação e tempo de movimento. No entanto, em

tarefas manipulativas complexas, os efeitos do estresse são negativos às funções neuro-motoras, aumentando o nível de ruído durante o processamento da informação, conseqüentemente aumentando o tempo de reação e diminuindo a precisão da ação motora.

Desempenhar ações motoras sob condição de estresse é comum no cotidiano das pessoas e, muitas vezes, o estresse pode tornar o desempenho de uma ação, relativamente fácil, em uma execução complicada. Há algum tempo, as dificuldades apresentadas pelos indivíduos na execução motora habilidosa sob condições de estresse vêm sendo estudadas no nível comportamental e sistêmico em vários contextos. Lazarus e colaboradores (1952) relataram possíveis efeitos do estresse psicológico no desempenho motor de soldados em combate. Em pianistas, Yoshie e colaboradores (2009a) verificaram alterações fisiológicas em situação de competição e buscaram identificar a influência destas alterações no desempenho dos participantes. Em específico, os pianistas demonstraram altos níveis de ansiedade e estresse. Embora estas alterações pudessem ser consideradas uma adaptação de prontidão do sistema para a competição, na verdade, em muitos casos, esta ansiedade e estresse têm uma influência negativa no desempenho.

O SNA parassimpático também está associado a funções cognitivas, sendo que um dos primeiros estudos a verificar esta relação em respostas motoras foi o de Coles, Pellegrini e Wilson (1982). Neste estudo, envolvendo a fase de respiração, o ciclo cardíaco e o processamento de informação, os autores concluíram que a atividade do SNA parassimpático tem papel principal na obtenção de desempenhos com tempos de latência mais curtos em tarefas de

tempo de reação. Os resultados confirmaram que os tempos de reação dos participantes eram mais curtos quando os estímulos para as respostas eram fornecidos durante a fase de expiração da respiração quando comparados com a fase de inspiração. A expiração desencadeia modulação parassimpática do ciclo cardíaco.

Para que a ação integrada e coordenada de todos os elementos envolvidos na complexa tarefa de coordenação e controle dos movimentos ocorra é imprescindível também que os meios intra e extracelulares dos neurônios envolvidos estejam em perfeito equilíbrio. A comunicação entre as células nervosas ocorre a partir de sinapses geradas pelo potencial de ação que somente ocorre em condições ideais. Segundo Bear e colaboradores (2007), para que ocorra uma transmissão sináptica química entre células nervosas, alguns requisitos básicos são necessários. Deve haver: um mecanismo para síntese e empacotamento dos neurotransmissores nas vesículas sinápticas; um mecanismo que desencadeie a liberação do neurotransmissor na fenda sináptica em resposta a um potencial de ação pré-sináptico; um mecanismo capaz de produzir uma resposta elétrica ou química no neurônio pós-sináptico que, por sua vez, gerará um novo potencial de ação pós-sináptico; e um mecanismo para remoção dos neurotransmissores da fenda sináptica. Todos estes eventos devem ocorrer rapidamente para cumprir seus papéis na sensação, percepção, aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras.

As estruturas do SNC podem ter sua dinâmica alterada durante o desempenho de ações motoras. Dentre estas alterações podemos considerar desde a disfunção celular durante o desempenho de ações motoras até a

degeneração neuronal provocada por um desequilíbrio bioquímico. Considerando que as crianças com TDC apresentam uma série de dificuldades, tais como de aprendizagem, memória, coordenação e controle, lentidão e também estresse e ansiedade, suas dificuldades podem estar relacionadas ao funcionamento do SNA e por esta razão devem ser ampliadas e aprofundadas.

2.4 Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação - TDC

O Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação, condição que pode estar presente ao longo do ciclo vital, diz respeito a dificuldades de aprendizagem, coordenação e controle do ser humano em desempenhar ações motoras, com implicações psicossociais e acadêmicas. A incidência do TDC na população varia entre 5 a 15% (HENDERSON, S. E.; SUGDEN, 1992). Ao longo dos anos, pesquisadores das áreas da Psicologia, Fisioterapia, Terapia Ocupacional e Educação Física utilizaram diferentes denominações para esta população tais como: crianças desajeitadas, disfunção perceptiva motora, disfunção integrativa sensorio-motora e disfunção cerebral mínima.

Tendo em vista o grande volume de estudos realizados ao longo dos anos sobre a temática e com a finalidade de facilitar o entendimento e acesso às informações sobre esta população com dificuldades motoras, a Associação Psiquiátrica Americana (APA – DSM IV) adotou a terminologia *Developmental Coordination Disorder*. Mais recentemente, o DSM IV foi traduzido para o português como Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC), passou a ser adotada pela maioria dos pesquisadores nos cinco continentes.

Segundo o “Manual Diagnóstico Estatístico de Transtornos Mentais” - APA (DSM-IV, 2002), o diagnóstico do TDC em crianças deve atender os seguintes critérios:

- (i) os desempenhos motores da criança em atividades diárias que requerem coordenação motora são substancialmente inferiores ao esperado para a respectiva idade cronológica;
- (ii) as dificuldades nos desempenhos citados no critério anterior interferem significativamente no desempenho acadêmico e/ou nas atividades diárias;
- (iii) as dificuldades não são causadas por uma condição médica geral, tais como paralisia cerebral, hemiplegia ou distrofia muscular e, se houver presença de retardo mental na criança, as dificuldades motoras são superiores às dificuldades associadas ao retardo.

Na revisão de literatura sobre as causas e as dificuldades associadas às crianças com TDC, Ayyash e Preece (2003) concluíram que as crianças com TDC formam um grupo heterogêneo, pois, além das dificuldades motoras, podem apresentar diferentes características. Para estes autores, algumas destas crianças apresentam equilíbrio postural extremamente pobre, pois caem frequentemente, esbarram e quebram objetos; outras apresentam dificuldades em desempenhar tarefas motoras de uma forma geral, tais como brincar com bola, desenhar, escrever. Algumas crianças apresentam hiper e/ou hiposensibilidade ao toque, repelindo certas texturas, enquanto outras buscam incessantemente experiências sensoriais. Em alguns momentos as crianças são nervosas, agitam-

se constantemente e parecem hiperativas. Em outros momentos são lentas e tendem a se cansar facilmente.

Esses autores afirmam que, em consequência das dificuldades apresentadas, em sua maioria, as crianças com TDC apresentam baixa autoestima e respondem com retração frente a desafios, um comportamento típico de um autoconceito pobre. O quadro que se apresenta conduz ao envolvimento da própria família diante da situação estressante criada e a maioria das crianças não supera ou recupera espontaneamente as dificuldades relacionadas ao TDC.

As dificuldades apresentadas pelas crianças com TDC fazem com que elas se sintam inibidas, constrangidas e/ou estressadas ao desempenhar habilidades motoras frente a colegas ou público. Devido a esses problemas, as crianças identificadas com TDC costumam ser rejeitadas socialmente, apresentar baixa autoestima, ansiedade e estresse (PRATT; HILL, 2011). Tendo em vista o impacto negativo das dificuldades motoras na vida destas crianças, pesquisadores investigaram o desempenho de crianças com TDC em uma ampla gama de tarefas.

Neste sentido, Wann, Mon-Williams e Rushton (1998) verificaram que grande parte das crianças com TDC apresenta pobre controle postural e equilíbrio em sala móvel. Johnston e colegas (2002), por sua vez, apontam que um dos problemas mais comuns experimentados por crianças com TDC é a dificuldade em desempenhar habilidades motoras com os membros superiores. A partir de registros eletromiográficos, esses autores observaram que as crianças com TDC, em tarefa de alcance rápido a um alvo, apresentaram diferente ativação da

musculatura postural. Mais especificamente, estas crianças não apresentaram atividade muscular antecipatória, em três de quatro músculos do abdômen, resposta comum em crianças sem tais dificuldades. Além disso, quando comparadas com as crianças sem dificuldades motoras, as crianças com TDC foram mais lentas tanto para iniciar o movimento como para atingir o alvo. A lentidão, tanto para iniciar quanto para executar uma ação motora, é comum em crianças com TDC (GAMA, 2008; HENDERSON, L.; ROSE; HENDERSON, 1992; SCHOEMAKER et al., 2001).

Em tarefa manipulativa de regulação de força/torque (pressão digital e preensão digital em pinça), pesquisadores (OLIVEIRA, M. A.; LOSS; PETERSEN, 2005) verificaram que crianças com dificuldades motoras apresentaram similaridades com crianças sem tais dificuldades. No entanto, as crianças com TDC tiveram mais dificuldade de adaptação no controle do torque em preensão digital de que seus pares. Além disso, foi verificado que as crianças com TDC são capazes de produzir força máxima de modo similar às crianças sem dificuldades motoras, mas apresentam desempenho inferior no controle de força em tarefas de torque isométrico, com maior número de variáveis a serem controladas (DIZ, 2008; OLIVEIRA, M. A. et al., 2012; OLIVEIRA, M. A. et al., 2006). Uma das sugestões apresentadas por Oliveira e colaboradores (2005) para explicar as dificuldades de controle na produção de força das crianças com TDC foi associada a um déficit na organização e planejamento das ações motoras. Os autores discutem o papel dos gânglios da base na regulação da força e sugerem déficit neurológico nestas estruturas em crianças com TDC (OLIVEIRA, M. A. et al., 2005; OLIVEIRA, M. A. et al., 2006).

Em um estudo recente com uma perspectiva desenvolvimental, King e colaboradores (2012) compararam crianças com idades entre 6 e 12 anos identificadas com TDC com crianças identificadas com Desenvolvimento Típico (DT) em tarefa de torque isométrico, mesma tarefa utilizada em estudo anterior por Oliveira e colaboradores (2006). King e colaboradores (2012) avaliaram a variabilidade, precisão e o índice de irregularidade das respostas motoras das crianças. Os resultados deste estudo revelaram que as crianças com TDC são mais variáveis e mais regulares que as crianças com DT no controle do torque isométrico demonstrando que crianças com TDC apresentam dificuldades de adaptação motora e atraso no desenvolvimento do controle do torque. No entanto, embora exista um atraso do desenvolvimento do controle do torque isométrico das crianças com TDC em relação as crianças com DT, as crianças com TDC apresentaram a mesma trajetória de desenvolvimento do controle de torque que as crianças com DT. Neste estudo, o índice de irregularidade foi medido através do cálculo da Entropia Aproximada (EnAp) das séries temporais do sinal de força obtido durante a realização da tarefa de torque isométrico. Os autores ressaltam que quanto menor a EnAp, menor o índice de irregularidade, ou seja, a resposta motora é mais previsível, menos complexa, pobre em adaptabilidade. Em contrapartida, alta irregularidade na resposta motora está associada a melhores desempenhos, como um indicativo da eficiência de um indivíduo em explorar as estratégias de controle disponíveis para o alcance da meta da tarefa.

Kagerer e colaboradores (2004) avaliaram a capacidade de adaptação a novas demandas de uma tarefa de alcance a um alvo em crianças com TDC. As crianças primeiramente deviam executar a tarefa em condições normais de

retroalimentação de um traçado; posteriormente, deviam executar a tarefa com a retroalimentação do traçado modificado em 45° no sentido horário; e, a seguir, novamente em condições normais de retroalimentação do traçado. Os resultados obtidos revelaram que o desempenho das crianças com TDC foi menos afetado pela perturbação visual e que elas não melhoraram a execução da tarefa nas últimas tentativas como era esperado. Tais resultados indicam que crianças com TDC apresentam dificuldades de adaptação motora, pois elas apresentaram menor capacidade de se adaptar às novas restrições da tarefa, perseverando com respostas similares frente a diferentes demandas de tarefas.

Sob a perspectiva do processamento da informação, Mandich e colegas (2003) utilizaram o paradigma de informação prévia em tarefa de apertar ou não uma tecla de teclado do computador em resposta a um estímulo em crianças com TDC e com DT entre 7 e 12 anos de idade. Os resultados do estudo conduzido por Mandich e colegas (2003) indicaram que as crianças com TDC são mais lentas e cometem mais erros de inibição da resposta comparados ao grupo com DT. Tais considerações são importantes porque demonstram que as crianças com TDC apresentam problema ainda maior em lidar com a imprevisibilidade, como no caso da dificuldade de inibição da resposta.

Em neurociência, pesquisadores investigaram o Sistema Nervoso Central (SNC) de crianças com TDC, a partir do pressuposto que os problemas motores destas crianças poderiam estar relacionados às funções executivas superiores do SNC. Função executiva do SNC é um construto da área da Psicologia que está relacionado aos processos cognitivos de planejamento e organização de sequência de novas ações motoras e situações, flexibilidade mental, tomada de

decisão, memória de curta duração, manutenção da atenção, inibição e/ou correção de erros, aprendizagem. Estes processos cognitivos estão diretamente associados a ativação de áreas do córtex cerebral específicas como o córtex pré-frontal e córtex cingulado anterior (ARDILA; PINEDA; ROSSELLI, 2000; CASTELLANOS et al., 2006; PASINI et al., 2007; THAYER et al., 2012).

Com o objetivo de encontrar explicações para as dificuldades motoras e/ou comportamentais em crianças com TDC, pesquisadores realizaram estudos investigando o perfil de ativação do cérebro de crianças com TDC durante a execução de tarefas motoras, utilizando técnicas de neuroimagem (PARKER, 2012; QUERNE et al., 2008; ZWICKER et al., 2010;2011). Zwicker e colaboradores (2010) apresentaram duas importantes considerações sobre a ativação neuronal de crianças com TDC durante a aprendizagem de uma nova tarefa: (i) as crianças com TDC apresentam diferentes padrões de ativação cerebral em relação aos padrões das crianças com DT; (ii) comparadas com crianças com DT, as crianças com TDC ativam praticamente o dobro de áreas cerebrais.

Através de Imagem de Ressonância Magnética funcional (fMRI), Zwicker e colaboradores (2011) verificaram a ativação cerebral de áreas relacionadas à aprendizagem motora durante a prática de uma tarefa de inibição da resposta (GO/no GO) em crianças com TDC com idade de 8 a 12 anos. As crianças com TDC e com DT tiveram fMRI registradas enquanto realizavam uma tarefa de habilidade motora fina (traçado), após praticarem a tarefa por três dias (4 blocos de prática de 2 minutos por dia). Os resultados das fMRIs revelaram que as crianças com TDC apresentam ativação diminuída do córtex pré-frontal

dorsolateral direito nas primeiras tentativas de prática até a retenção e não apresentaram melhora no desempenho da tarefa ao longo da prática. Por outro lado, as crianças com DT demonstraram aumento significativo na ativação do córtex pré-frontal dorsolateral direito no mesmo período de aprendizagem.

Outros estudos com a utilização de neuroimagem, durante o desempenho de tarefas motoras, também revelaram ativação diminuída do córtex pré-frontal em crianças com TDC (PARKER, 2012; QUERNE et al., 2008). Os resultados dos estudos realizados com neuroimagem em crianças com TDC apresentados acima levaram os pesquisadores a concluir que as dificuldades de aprendizagem das crianças com TDC, comparadas com crianças com DT, podem estar relacionadas à ativação diminuída de áreas cerebrais específicas, associadas à aprendizagem motora, durante a prática de tarefas motoras (ZWICKER et al., 2012).

As dificuldades motoras das crianças com TDC, apontadas acima, auxiliam o entendimento das causas que levam estas crianças a se afastarem de atividades que requerem algum tipo de controle refinado. Como consequência, ocorre redução significativa na participação em jogos e brincadeiras organizadas e/ou livres (CAIRNEY et al., 2005b; FAUGHT et al., 2005), redução esta que se mantém ao longo dos anos (CAIRNEY et al., 2010b). Convém lembrar que, segundo as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS), todas as crianças necessitam manter estilo de vida ativo para a manutenção de seu bem estar. Para a maioria dos meninos, a dificuldade motora está associada a sobrepeso e obesidade (CAIRNEY et al., 2005a). No entanto, de acordo com Cairney e colaboradores (2010b), as crianças com TDC, independente do gênero,

apresentam baixo condicionamento aeróbio, maior percentual de gordura corporal e, conseqüentemente, elevado Índice de Massa Corpórea (IMC).

A aptidão cardiorrespiratória tem sido o componente mais investigado pelos pesquisadores que estudam a relação entre a aptidão física e crianças com TDC (LI et al., 2011; WU et al., 2011; WU et al., 2010), pois é considerada essencial para as prevenções de doenças cardiovasculares e manutenção e/ou modificações da composição corporal (DONNELLY et al., 2009; POWELL et al., 1987). Uma série de estudos verificou a influência da dificuldade motora sobre a aptidão cardiorrespiratória (CAIRNEY et al., 2010a; CAIRNEY et al., 2011; CAIRNEY et al., 2006), através do “teste máximo multi-estágios 20 metros Shuttle Run – 20-MST” (LEGER, L. A.; LAMBERT, 1982) e testes em bicicleta ergométrica (CAIRNEY et al., 2010a) os pesquisadores constataram um baixo nível de desempenho das crianças com TDC. Wu e colaboradores (2010), por sua vez, observaram que o pico de $VO_{2\max}$ atingido pelas crianças com TDC é inferior aos de seus pares com DT através do teste incremental realizado em esteira.

Segundo Cairney (2006), o baixo nível de desempenho cardiorrespiratório das crianças com TDC pode estar relacionado com o fato de elas não atingirem o seu potencial aeróbio máximo devido à baixa percepção de sua própria competência motora, fazendo com que estas desistam das tarefas antes mesmo de atingir o seu melhor desempenho. Para Wu (2010), o desempenho inferior das crianças com TDC em testes de aptidão cardiorrespiratória está relacionado à competência motora baixa associada à hipoatividade.

De interesse para o presente estudo são as avaliações de condicionamento aeróbio realizadas com TDC. A potência aeróbia, em crianças e adolescentes, é

mais bem avaliada com testes de curta duração, entre 5 e 6 minutos, ao invés de testes mais longos como o de “12 minutos”, amplamente utilizado e validado por Cooper (1968). Segundo Tanaka (1986), testes máximos aeróbios dependem de uma grande motivação por parte dos indivíduos para alcançar o melhor desempenho e crianças e adolescentes são mais motivadas a realizar testes mais curtos. Posteriormente, VanMechelen e colaboradores (1986), validaram e compararam o “teste máximo multi-estágios 20 metros Shuttle Run – 20-MST” (LEGER, L. A.; LAMBERT, 1982) e corrida em endurance por 6 minutos com o VO_{2max} avaliado diretamente em ciclo-ergométrico em crianças e adolescentes. Os pesquisadores observaram que, comparado a corrida em endurance por 6 minutos, o 20-MST apresentou melhores níveis de correlação com a avaliação direta e, conseqüentemente, foi maior adequação para utilização com crianças e adolescentes.

Coverdale e colaboradores (2012) afirmam que características associadas como baixa participação em atividades físicas, baixo condicionamento aeróbio, elevado percentual de gordura corporal e IMC representam alto fator de risco para doenças cardiovasculares, o que implica na necessidade em se promover a prática de atividade física desta população. Outras características parecem contribuir ainda mais para a emergência de doenças cardiovasculares em crianças com TDC, uma vez que essas crianças apresentam alto nível de ansiedade e estresse quando comparadas com seus pares sem dificuldades motoras (FRANCIS; PIEK, 2003; SKINNER; PIEK, 2001).

2.5 Variabilidade da Frequência Cardíaca

Algumas técnicas são conhecidas para a avaliação do SNA e dentre elas podemos destacar a presença de catecolaminas no plasma e urina, o *spillover* da norepinefrina cardíaca, a microneurografia (atividade nervosa), concentração de cortisol no plasma e saliva. Estas técnicas, no entanto, apresentam restrições quando da avaliação e interpretação do SNA em função de avaliarem somente a modulação simpática do SNA e por serem, em sua maioria, invasivas e inviáveis de serem realizadas durante o desempenho motor e/ou em grande escala.

Recentemente, a análise da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC), descrita a seguir, se tornou uma importante ferramenta não invasiva e capaz de avaliar ambos os componentes do SNA. A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) refere-se a diferenças nos intervalos de tempo entre batimentos cardíacos consecutivos. A VFC é identificada como um método de análise não invasivo que fornece informação sobre a influência da contribuição simpática e da parassimpática do SNA nas oscilações da Frequência Cardíaca (AKSELROD et al., 1981; RIGANELLO; GARBARINO; SANNITA, 2012; TAKAHASHI et al., 2009; TASK FORCE, 1996). Segundo Acharya e colaboradores (2006), a VFC reflete mudanças adaptativas do comportamento cardíaco frente a demandas contextuais.

A análise da VFC é realizada a partir dos intervalos das ondas R-R (iR-R) do eletrocardiograma. Estas ondas do eletrocardiograma correspondem ao período de despolarização ventricular do coração, isto é, ao intervalo entre a ocorrência de uma e outra despolarização ventricular que, normalmente, é medida em milissegundos (ms). A VFC tem sido amplamente utilizada para fornecer

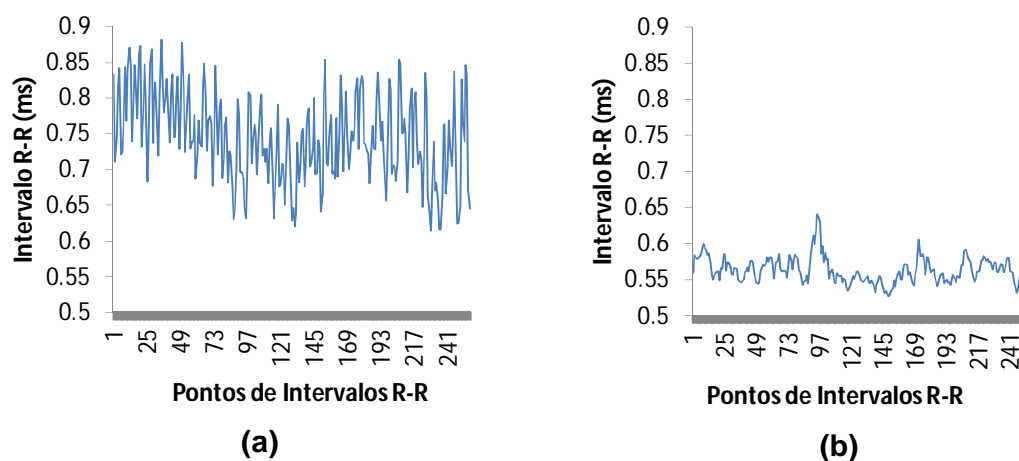
informação sobre a modulação do SNA no coração apresentando alta confiabilidade em diferentes populações, tais como crianças, idosos, portadores de patologias e atletas (ACHARYA et al., 2006; NOVAIS et al., 2004; RIGANELLO et al., 2012; TASK FORCE, 1996).

A relevância clínica da VFC começou a ser considerada a partir de 1963 quando Hon e Lee observaram que alterações nos intervalos dos batimentos cardíacos precediam qualquer alteração na frequência cardíaca em fetos com déficit de oxigênio. Além disso, foi observada a presença de ritmos biológicos relacionados com a modulação simpática e parassimpática do batimento cardíaco (AKSELROD *et al.*, 1981). Os pesquisadores evoluíram nos métodos de análise da VFC com análises lineares e não lineares descritas na literatura.

Os algoritmos lineares para análise da VFC são descritos nos domínios do tempo e da frequência. O método de domínio de tempo é caracterizado pela quantificação da magnitude da flutuação do comportamento do coração através de cálculos matemáticos e estatísticos em torno de um valor médio da frequência cardíaca, como por exemplo, o desvio padrão. No entanto, estes índices fornecem somente informação sobre o equilíbrio simpático e parassimpático como um todo ou refletem somente o componente parassimpático do SNA (TASK FORCE, 1996). Através de análise espectral, o método linear no domínio da frequência extrai informações da VFC pela flutuação em torno de frequências determinadas previamente, possibilitando a avaliação tanto do componente simpático como do parassimpático do SNA (HUIKURI; MÄKIKALLIO; PERKIÖMÄKI, 2003; MÄKIKALLIO et al., 2002). Neste método de análise, a VFC é decomposta em componentes oscilatórios fundamentais: (a) de Alta Frequência (AF) com faixa de

variação entre 0,15 a 0,4Hz, que corresponde à modulação respiratória e é indicadora da modulação parassimpática no comportamento do coração; (b) de Baixa Frequência (BF) com faixa de variação entre 0,04 e 0,15Hz, que corresponde a ação conjunta de ambos os componentes, simpático e parassimpático do SNA no comportamento do coração, sendo que nesta frequência de oscilação o componente simpático é predominante, indicando modulação simpática do coração; e (c) de Muito Baixa Frequência (MBF), com faixa de variação entre 0 e 0,04Hz, em que as explicações fisiológicas ainda estão indefinidas (TASK FORCE, 1996). Na Figura 2 abaixo, são apresentados dois sinais de iR-R de crianças, obtidos no presente estudo, sendo que (a) apresenta maior quantidade de oscilações de alta frequência, com predominância de modulação parassimpática do coração e (b) apresenta maior quantidade de oscilações de baixa frequência, com predominância de modulação simpática do coração.

FIGURA 2 - Tacograma de duas séries temporais de intervalos R-R de crianças, sendo que (a) apresenta grande quantidade de oscilações de alta frequência e (b) apresenta grande quantidade de oscilações de baixa frequência.



A partir do referencial teórico da Teoria dos Sistemas Dinâmicos, as análises não lineares são capazes de extrair informações diferentes das análises lineares da VFC. Os Algoritmos não lineares detectam informações mais qualitativas do que quantitativas das séries temporais de iR-R, revelando de que forma está organizada a série temporal de iR-R (HUIKURI et al., 2003; MÄKIKALLIO et al., 2002). Nas análises não lineares serão destacadas as análises simbólicas e a Entropia Condicional (EC) dos sinais de intervalos R-R (iR-R). Porta e colaboradores (2001), através de análise de séries temporais curtas de iR-R, com a utilização do cálculo da Entropia de Shanon, obteve informações sobre a distribuição de padrões de sequências de batimentos cardíacos. A partir de uma análise simbólica, os padrões identificados foram distinguidos e relacionados com as modulações simpática e parassimpática do coração.

A análise simbólica, descrita por Porta e colaboradores em 2001, consiste na transformação da série temporal de iR-R em uma sequência de números inteiros, que caracterizam os símbolos, variando de 0 a 5. Sendo assim, cada iR-R de uma série temporal necessariamente deve estar inserido em um nível na sequência de símbolos. Após a construção das variações de padrões possíveis de 3 símbolos sequenciais dentro dos níveis simbólicos, foram criadas famílias de padrões de comportamento: (a) 0V, sem variação nos símbolos; (b) 1V, uma variação; (c) 2VS, duas variações similares; e (d) 2VD, duas variações diferentes. Finalmente, cada uma de 3 sequências de iR-R da série temporal é classificada sucessivamente de acordo com seu padrão de comportamento na família correspondente e os resultados são expressos no percentual de ocorrência de

cada padrão. A análise simbólica da VFC foi verificada em estudos com bloqueio farmacológico (GUZZETTI *et al.*, 2005) e teste de modulação do SNA (GUZZETTI *et al.*, 2005; PORTA, A *et al.*, 2007b) revelando ser capaz de avaliar o componente simpático e parassimpático do SNA, sendo que o percentual de ocorrência na família de 0V dentro de uma série temporal de iR-R indica modulação simpática e o percentual na família de 2VS indica modulação parassimpática do coração.

Outra forma de análise não linear da VFC pode ser realizada através do cálculo da entropia condicional (EC) de uma série temporal de iR-R, descrita por Porta e colaboradores (1998). O cálculo da EC verifica a complexidade de uma série curta de iR-R a partir de sua regularidade, ou seja quanto mais regular uma série menor a sua complexidade, sendo que quanto maior o Índice de Complexidade (IC) ou o índice de Complexidade Normalizado (ICN) do sinal, maior a modulação parassimpática do SNA.

Na medida em que os elementos centrais que explicam a VFC foram estabelecidos, a preocupação dos pesquisadores foi dirigida para a utilização em populações específicas, cujas características seriam beneficiadas com esta abordagem. Assim, entre outras relações, pesquisadores interessados nas doenças do coração verificaram e confirmaram a relação entre problemas cardiorrespiratórios e a VFC (AKSELROD *et al.*, 1981; ALETTI *et al.*, 2012; ALTER *et al.*, 2006; BEDARD *et al.*, 2010; BERGER *et al.*, 1986; KUNZ *et al.*, 2011; OLIVEIRA, N. L. *et al.*, 2013). Relações entre a ansiedade e estresse e a VFC também foram verificadas e confirmadas, sendo que a baixa variabilidade, ou seja, a modulação predominantemente simpática indica estresse e ansiedade

dos indivíduos (ALVARES et al., 2013; BLOM et al., 2010; DRAGASEK et al., 2006; GAEBLER et al., 2013; KHASPEKOVA et al., 1998; LABORDE et al., 2011; LICHT et al., 2009; MATEO et al., 2012; MELICHAR et al., 2003; MICHELS et al., 2013b; THAYER et al., 2012).

Inicialmente as análises da VFC foram realizadas a partir de informação do sinal cardiológico de séries temporais de iR-R extraídas do eletrocardiograma (ECG). Posteriormente, estudos validaram a utilização de cardiofrequencímetro (Polar S810, Polar Electro Oy) para extração de séries temporais de iR-R em análises da VFC em adultos (GAMELIN, FRANÇOIS XAVIER; BERTHOIN; BOSQUET, 2006; NUNAN et al., 2009) e em crianças (GAMELIN, F. et al., 2008). A partir de então, o uso do cardiofrequencímetro passou a ser comum na comunidade científica para a análise da VFC, principalmente por se tratar de um equipamento mais simples e acessível que o ECG.

Para avaliar o equilíbrio autonômico em análises da VFC, tanto em pesquisas acadêmicas quanto no ambiente clínico, o teste com mudança de postura ativa é comumente utilizada, da posição supino (deitada) para a posição ortostática (em pé). As vantagens da utilização desta avaliação do SNA são devidas aos procedimentos não invasivos que não expõem os indivíduos a situações de estresse mental (PICCIRILLO *et al.*, 1997). Em linhas gerais, em indivíduos normais o controle autonômico deve responder se adaptando a mudança de postura, de uma modulação predominantemente parassimpática, na posição supino, para uma modulação predominantemente simpática, na posição ortostática (ALEHAN; CELIKER; ÖZME, 1996; LEWIS et al., 1997; PICCIRILLO et al., 1997; TASK FORCE, 1996). Isto ocorre devido ao desvio hidrostático

causado pelo deslocamento do sangue da região central do corpo para as extremidades, reduzindo a saída cardíaca e pressão arterial, bem como promovendo a ativação de receptores arteriais e cardiopulmonares (RAJENDRA ACHARYA et al., 2005; SIEBERT et al., 2004). Além disso, em indivíduos saudáveis, com a mudança da posição supino para a ortostática, deve ocorrer ativação simpática adaptativa causada por estimulação adrenérgica (SIEBERT et al., 2004).

Com o objetivo de verificar as adaptações autonômicas de crianças com Paralisia Infantil na posição supino e ortostática, Zamuner e colaboradores (2011) verificaram que as crianças com Paralisia Infantil apresentam modulação predominantemente simpática comparadas com crianças com DT na posição supino e não se adaptam de forma adequada, como as crianças com DT na mudança de postura, de modulação relativa predominantemente parassimpática na posição supino para modulação predominantemente simpática na posição ortostática. Os autores justificam este resultado considerando que ficar na posição supino já representa maior demanda energética e dificuldade para as crianças com Paralisia Infantil comparadas as crianças com DT e que os problemas neurofisiológicos das crianças com Paralisia Infantil são os principais responsáveis pela pobre adaptabilidade na mudança de postura.

De interesse especial para o presente trabalho são os estudos que relacionam a VFC com as funções executivas do SNC, com o estresse e ansiedade, em particular aqueles que focalizam a VFC em crianças. Estudos recentes apresentaram fortes evidências de uma relação intrínseca entre a dinâmica de funcionamento do coração e aquela do Sistema Nervoso Central

(BHATT et al., 2013; ELLIOT et al., 2011; GIANAROS; VAN DER VEEN; JENNINGS, 2004; NUGENT et al., 2011; PARK et al., 2012; RIGANELLO et al., 2012; RUIZ-PADIAL et al., 2013; THAYER et al., 2010;2012; THAYER et al., 2009a; THAYER; LANE, 2009; THAYER et al., 2009b; WILLIAMS; SPELLER; THAYER, 2013).

Thayer e colaboradores (2009) apresentaram uma série de evidências de um indicador comum de autorregulação e adaptação dos fatores fisiológicos, comportamentais, emocionais e os processos cognitivos, tal como a VFC. Desta forma, comprovam a existência de relação direta e dependente entre a VFC e os processos cognitivos do SNC.

Através de combinação de técnicas de neuroimagem com a análise da VFC, Lane e colaboradores (2009) verificaram que a atividade do córtex pré-frontal medial está diretamente associada com a modulação parassimpática do SNA. Em estudo com mulheres adultas avaliadas durante diferentes condições emotivas, estes pesquisadores verificaram correlação positiva entre o aumento do fluxo sanguíneo cerebral no córtex pré-frontal medial, medido por Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET), e o aumento da modulação parassimpática medida pelo componente parassimpático da VFC (AF).

Neste estudo, Lane e colaboradores (2009) induziram as sensações de alegria, tristeza, desgosto por clipes de filmes e experiências lembradas. Mais especificamente, os autores verificaram que o aumento do componente de AF da VFC (modulação parassimpática) está associado tanto com experiências emocionais positivas quanto com ativação do córtex pré-frontal superior direito, o córtex cingulado anterorostral esquerdo, o córtex pré-frontal dorsolateral direito e

o córtex parietal direito. Em contrapartida, as experiências emocionais negativas estão associadas à diminuição da VFC e com a hipoatividade destas áreas cerebrais.

Os resultados do estudo realizado por Lane e colaboradores (2009) estão de acordo com as sugestões de Ter Horst e colaboradores (1999) com base em estudo realizado com fármacos bloqueadores com destaque para o papel inibidor realizado pelo córtex pré-frontal através do nervo vago. Ou seja, analisados conjuntamente, os resultados destes estudos indicam que o córtex pré-frontal regula os circuitos sub-corticais da modulação simpática da frequência cardíaca através de mecanismo inibitório associado à atividade do nervo vago, que pode ser identificado na análise da VFC (THAYER; LANE, 2009).

A análise da ativação do córtex pré-frontal em diferentes contextos é fundamental no presente estudo, pois o córtex pré-frontal está associado a importantes processos executivos e respostas que requerem tomada de decisão. Em estudo realizado com primatas, Arnsten e Goldman-Rakic (1998) verificaram hipoativação do córtex pré-frontal em respostas em situação de estresse reguladas por processos executivos prepotentes e automáticos. Segundo estes autores, esta adaptação sistêmica seletiva de inibição do córtex pré-frontal estaria associada a respostas sub-corticais automáticas, de estruturas como a amígdala, portanto, sem atraso determinado por processos mais deliberativos e conscientes realizados no córtex pré-frontal. Estes atrasos na resposta e flexibilidade cognitiva e/ou adaptabilidade, determinados pelos processamentos realizados no córtex pré-frontal, são vitais para a autorregulação com sucesso nos ajustes das respostas, desempenhando, portanto, papel fundamental nos estágios do

processo de aprendizagem e adaptação motora. Em contrapartida, a inatividade do córtex pré-frontal prolongada é relacionada ao comportamento de defesa, hipervigilância e perseverança (THAYER et al., 2012; THAYER; LANE, 2009).

Em crianças, a análise da VFC tem sido utilizada em diferentes contextos a partir de vários parâmetros. Por exemplo, crianças com sobrepeso e obesidade apresentam baixa VFC quando comparadas com crianças eutróficas (ALTUNCU; BASPINAR; KESKIN, 2012; BIRCH; DUNCAN; FRANKLIN, 2012; GUTIN et al., 2000; PASCHOAL; TREVIZAN; SCODELER, 2009; RUSSONIELLO et al., 2002). A melhora da aptidão física através de treinamento aumenta a VFC em crianças (GAMELIN, F. X. et al., 2009; GUTIN et al., 2000; PORGES et al., 2007; RUSSONIELLO et al., 2002).

Michels e colaboradores (2013a) realizaram um estudo com um grande número de crianças (N = 460) de idade entre 5 e 10 anos, de ambos os sexos, com o objetivo de estabelecer parâmetros e relações da VFC com o sexo, idade, aptidão física e Índice de Massa Corpórea (IMC). Os autores realizaram a análise da VFC em repouso na posição supino nos domínios do tempo e da frequência em séries temporais de 5 minutos de iR-R, sendo que os dados foram coletados com a utilização de cardiofrequencímetro e editados e processados manualmente. Neste estudo, os autores concluíram que a VFC das crianças depende da idade, gênero, capacidade aeróbia, sendo que quanto melhor a capacidade aeróbia maior a capacidade de modulação parassimpática. Não foram encontradas relações entre a VFC e o IMC das crianças. Michels e colaboradores (2013a) verificaram que até os nove anos os valores da VFC tendem a aumentar em função do aumento da idade e a partir daí a VFC tende a se estabilizar ou

diminuir, confirmando estudos anteriores. Além disso, no estudo de Michels e colaboradores (2013a), valores inferiores de VFC foram encontrados nas meninas quando comparados aos dos meninos. A partir destes resultados os autores sugerem que estudos focalizando a VFC em crianças levem em consideração a capacidade aeróbia, o gênero e a idade.

Sob o argumento que a VFC é um promissor marcador do estresse que tem sido amplamente utilizado (THAYER *et al.*, 2012), Michels e colaboradores (2013b) realizaram um estudo com o objetivo de mostrar a relação entre o estresse e a VFC em crianças entre 5 e 10 anos de idade. Os autores verificaram a correlação entre análises da VFC e questionário de estresse (N = 334) e entre análises da VFC e medidas da concentração de cortisol salivar (N = 293). A hipótese dos autores é que análises de um curto período da VFC (5-minutos) realizadas na posição supino poderia indicar condição de estresse crônico nas crianças, sendo que a baixa modulação parassimpática estaria associada com respostas indicadoras de estresse e ansiedade no questionário de estresse e a padrões de hipersecreção do biomarcador do cortisol salivar.

Os resultados do estudo de Michels e colaboradores (2013b) indicaram que baixos valores de AF estão relacionados a dificuldades de relacionamento com os colegas, raiva e tristeza. O desequilíbrio na relação BF/AF (alto BF relacionado a AF) está associado a raiva e tristeza nas respostas das crianças ao questionário. Os resultados indicaram ainda que estes padrões de baixa VFC, baixa modulação parassimpática, também estão moderadamente correlacionados a alta concentração de cortisol salivar encontrada nas crianças. Os autores concluíram que as análises da VFC podem ser consideradas como um marcador do estresse

e ansiedade em crianças, no entanto sugerem que estas medidas sejam realizadas em combinação com as medidas da concentração de cortisol salivar, para melhor interpretação das causas e processos subjacentes do estresse e ansiedade em crianças.

Na revisão de literatura, apenas um estudo foi encontrado relacionando o TDC e a VFC. Coverdale e colaboradores (2012) verificaram a VFC em adolescentes, com idade entre 12 e 14 anos com provável TDC (pTDC) e com DT através de análise linear no domínio da frequência em repouso na posição supino (BF, AF e BF/AF). Os resultados deste estudo não indicaram nenhuma diferença significativa nas variáveis de modulação autonômica da VFC, embora os adolescentes com DT apresentassem consistentemente maiores valores de modulação parassimpática que os adolescentes com pTDC. Em específico, os adolescentes com DT apresentaram valores absolutos maiores do componente AF (ms^2) que os adolescentes com pTDC, média DT = 1208 (1389) e TDC = 621 (609), e maior equilíbrio autonômico (BF/AF), média DT = 0,91 (0,57) e TDC = 1,34 (1,09). Os autores verificaram também que a sensibilidade barorreflexa arterial, com função regulatória da pressão arterial, das crianças com TDC é reduzida nos adolescentes com pTDC, comparadas aos adolescentes com DT. A hipótese dos autores é que tais diferenças são decorrentes do baixo nível de condicionamento aeróbio e alto nível de IMC dos adolescentes com pTDC comparados aos adolescentes com DT.

2.6 Considerações neurofisiológicas e comportamentais do TDC

O desempenho de ações motoras é fundamental no curso desenvolvimento humano. As crianças executam ações motoras para conhecer, interagir com, e aprender sobre o meio em que vivem. Através das ações motoras, as crianças entram em contato e interagem com objetos, relacionam-se socialmente em jogos e brincadeiras, alimentam-se, higienizam-se e vestem-se sozinhas. É a partir do domínio motor, com experiências positivas, que as crianças adquirem autoconfiança e autoestima (BUNKER, 1991). O mínimo domínio das habilidades motoras básicas tais como andar, chutar, rebater, agarrar, girar, mudar de direção é necessário para que as crianças se sintam encorajadas a engajar-se e enfrentar novos desafios com confiança e adquiram novas competências motoras com mais facilidade.

A criança confiante, com senso de competência, interage com o meio ambiente desenvolvendo, organizando e melhorando suas habilidades de modo que se tornem consistentes e adequadas às demandas ambientais. O senso de competência desenvolvido permite também às crianças aumento progressivo de controle à medida que as habilidades são aprendidas e organizadas em rotinas automatizadas de movimentos. Este comportamento de controle acrescido do senso de competência leva a criança a expectativas positivas de sucesso estimulando sua participação em jogos, brincadeiras e esportes.

O estado de ansiedade e estresse influencia consideravelmente a aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras (METZ, 2007). O desempenho de ações motoras em situação de ansiedade e estresse elevados é prejudicado quando comparado com o desempenho em condições normais

(MIYAMOTO, 2010; YOSHIE et al., 2009a; YOSHIE; KUDO; OHTSUKI, 2009b). Em crianças com TDC, as dificuldades de estresse e ansiedade apresentadas podem agravar ainda mais o quadro problemático destas crianças. O estresse e a ansiedade nas crianças com TDC podem contribuir e/ou serem responsáveis pelo aumento das dificuldades de aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras; afastamento ou refusa na participação em atividades físicas organizadas e não organizadas; estabelecimento de um autoconceito pobre, baixa autoestima e, conseqüentemente, a exclusão destas crianças pelos colegas.

De modo significativo, as alterações provocadas pelo estresse modificam a configuração global do sistema orgânico dos indivíduos, alterando o conjunto de restrições deste organismo, com implicações no desempenho de ações motoras. Com base no modelo apresentado por Newell (1986), no qual destaca que o desempenho motor habilidoso é resultado da interação do conjunto das restrições do organismo, ambiente e tarefa, para fins do presente estudo, consideramos que as alterações orgânicas não adequadas podem prejudicar a coordenação e o controle motor.

As restrições do organismo podem estar associadas aos fatores químicos, neurológicos e morfológicos do sistema biológico. No desempenho de uma ação motora, as restrições do organismo dizem respeito às propriedades físicas dos indivíduos, refletidas na estatura, no peso e nas capacidades físicas, como força e flexibilidade, nas capacidades psicológicas, como nível de estresse e motivação, assim como nas vivências deste indivíduo em todo um conjunto de experiências motoras. De modo geral, as restrições do organismo envolvem o estado atual do indivíduo no momento em que ele executa uma determinada ação motora.

Portanto, a prontidão e/ou adaptação para a execução de qualquer tarefa e o nível de estresse e motivação podem interferir diretamente no comportamento motor (METZ, 2007; YOSHIE et al., 2009a; YOSHIE et al., 2009b).

Diante da revisão apresentada, a hipótese do presente estudo é que por se sentirem inibidas, estressadas e/ou ansiosas, as crianças com TDC apresentam padrão de modulação do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) atípico, comparadas as crianças com DT durante as etapas da realização de tarefa motora e que esta condição pode prejudicá-las na aprendizagem, coordenação e controle das ações motoras.

5 MÉTODO

Em função dos objetivos, o presente estudo foi desenvolvido em três fases:

1 - Identificação e caracterização das crianças participantes do estudo; 2 - Modulação autonômica em crianças com TDC com mudança de postura ativa; 3 - Modulação autonômica em crianças com TDC durante as etapas da realização de tarefa motora com demanda de velocidade e precisão.

5.1 Fase 1 – Recrutamento, Identificação e caracterização das crianças participantes do estudo

Foram identificados alunos de duas escolas do Ensino Público da cidade de Rio Claro com idade entre 8 e 12 anos. Após a apresentação do estudo às crianças, elas foram convidadas a participar do mesmo e as que demonstraram interesse receberam duas vias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) – Protocolo n. 1300, a serem apresentadas aos pais e/ou responsáveis. As crianças que retornaram o TCLE assinado pelos pais e/ou responsáveis, consentindo a sua participação, foram avaliadas na própria escola quanto à coordenação motora através do M-ABC-2, obtidas medidas antropométricas, realizada avaliação da potência aeróbia, procedimentos estes complementados com informações obtidas junto à direção da escola sobre diagnóstico de problemas neurológicos das crianças participantes.

5.1.1 Participantes

Desta fase do estudo, participaram 96 crianças com idade entre 8 e 12 anos (média = 10,2 anos), sendo 56 meninas (média = 10,2 anos) e 40 meninos (média = 10,3 anos).

5.1.2 Materiais

Para a avaliação da coordenação motora foi utilizado um Kit de materiais do M-ABC-2. Para a medição do peso das crianças foi utilizada uma balança digital TANITA HS-3012 e para medição da estatura foi utilizado um estadiômetro. Para avaliação da capacidade aeróbia foi utilizada uma mídia de MP3 do “teste máximo multi-estágios 20 metros *Shuttle Run* – 20-MST” (LEGER, L. A.; LAMBERT, 1982) e um aparelho reproduzidor de MP3.

5.1.3 Avaliação da coordenação motora (M-ABC-2)

Testes motores validados e padronizados internacionalmente são utilizados para a identificação de crianças com dificuldades motoras. No entanto, o mais amplamente utilizado e reconhecido na comunidade científica para identificação de crianças e adolescentes com dificuldades motoras é o *Movement Assessment Battery for Children - 2* (M-ABC-2) proposto por Henderson, Sugden e Barnett (2007). O M-ABC-2 é composto por oito tarefas que são divididas em três categorias: destreza manual (DM), arremesso (AR) e equilíbrio estático e dinâmico (EQ). Cada conjunto de tarefas foi projetado para ser aplicado em cada uma das faixas etárias: faixa 1, para crianças de 3 a 6 anos; faixa 2, para crianças de 7 a 10 anos; e faixa 3, para crianças de 11 a 16 anos.

A avaliação motora através do M-ABC-2 foi realizada na escola que as crianças frequentavam. Todas as crianças foram avaliadas individualmente pelo pesquisador responsável por este estudo. As crianças com desempenho abaixo do 5º percentil, sem histórico de deficiência neurológica, foram identificadas com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC), As crianças com desempenho entre o 5º e o 15º percentil, sem histórico de deficiência neurológica, foram identificadas com risco de TDC e as crianças com desempenho superior ao 15º percentil foram identificadas com desenvolvimento típico (DT). A incidência de crianças com TDC encontrada no presente estudo foi de 23,8%, a incidência de crianças com risco TDC foi de 18,1% e a incidência de crianças com DT foi de 58% (TABELA 1).

TABELA 1 - Participantes do estudo quanto ao gênero, idade e coordenação motora, desempenho no M-ABC

	TDC	Risco TDC	DT
MASCULINO (N)	13	1	24
FEMININO (N)	8	15	27
IDADE (meses)	127.3 (16.1)	132.0 (11.0)	126(14.1)
DM SCORE PADRÃO	6.0 (1.6)	8.1 (1.9)	9.4 (1.8)
AR SCORE PADRÃO	6.2 (2.2)	7.0 (2.8)	10.7 (2.6)
EQ SCORE PADRÃO	3.52 (1.6)	6.5 (1.3)	10.0 (2.5)
SCORE PADRÃO TOTAL	3.9 (1.2)	6.5 (0.5)	9.9 (1.6)
PERCENTIL TOTAL	2.9 (2.0)	12.5 (3.6)	48.6 (20.0)

DM – Destreza Manual; AR – Arremesso; EQ – Equilíbrio; TDC – Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação; DT – Desenvolvimento Típico.

5.1.4 Avaliação antropométrica e da potência aeróbia

Os dados das medidas antropométricas e da potência aeróbia foram obtidos na quadra de esportes, em grupos de no máximo cinco crianças e com duração aproximada de 20 minutos para cada grupo. Para as medidas

antropométrica foram obtidos o peso e a estatura para posterior cálculo do Índice de Massa Corporal (IMC). Foram realizadas três aferições para peso e estatura com a mediana destas medidas considerada para análise.

A avaliação da potência aeróbia (VO_2 *pico*) foi realizada a partir do “teste máximo multi-estágios 20 metros Shuttle Run – 20-MST” (LEGER, L. A.; LAMBERT, 1982). Tendo em vista as características das crianças participantes do presente estudo este teste foi adaptado com a presença de um guia para auxiliar na determinação da velocidade de corrida de cada um dos estágios do 20-MST. O papel do guia de velocidade foi desempenhado sempre por um colaborador, professor de Educação Física, conhecido das crianças participantes do estudo e pertencente ao Laboratório de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (LABORDAM). A necessidade da utilização do guia ficou evidente a partir da verificação em estudo piloto de dificuldades de acoplamento da velocidade de corrida ao áudio do teste reproduzido pelo aparelho MP3 realizado com crianças de idade entre 8 e 12 anos.

Anteriormente o início da avaliação da potência aeróbia, as crianças foram instruídas a correr lado a lado com o guia até o máximo de sua capacidade. A avaliação da potência aeróbia era interrompida no momento em que as crianças não conseguiam atingir as metas de acoplamento temporal e espacial exigida pelo teste por duas vezes consecutivas atrasando em relação ao áudio, sendo que o nível atingido na primeira falha de acoplamento era anotado e considerado como resultado do teste.

Das 96 crianças participantes da avaliação motora, oito delas deixaram de participar do estudo, sendo duas delas por desistência (uma identificada com

dificuldade motora e uma em risco de dificuldade motora) e outras seis por terem mudado de escola durante o período de realização do estudo (todas identificadas sem dificuldades motoras). Sendo assim, 88 crianças foram avaliadas quanto ao IMC e potência aeróbia, divididas em três grupos: Grupo TDC (n = 21), Grupo risco TDC (n = 16) e Grupo DT (n = 51). Os resultados da ANOVA dos valores da média do índice de Massa Corpórea (IMC) revelaram efeito significativo entre os grupos, $F(2,85) = 10,3$ $p < 0,01$, $\text{partial } \eta^2 = 0,19$. As análises posteriores de *Bonferroni* indicaram que as crianças com TDC e as crianças com risco TDC obtiveram resultados similares e que as crianças com TDC e com risco TDC apresentaram desempenho inferior ao das crianças com DT, $p < 0,01$ e $p < 0,05$, respectivamente (TABELA 2).

Os resultados da ANOVA dos valores da média da Potência Aeróbia (VO_2 pico) revelaram efeito significativo entre os grupos, $F(2,85) = 7,73$ $p < 0,01$, $\text{partial } \eta^2 = 0,15$. As análises posteriores de *Bonferroni* indicaram que as crianças com TDC e as crianças com risco TDC obtiveram resultados similares e que as crianças com TDC e com risco TDC apresentaram desempenho inferior ao das crianças com DT, $p < 0,01$ e $p < 0,01$, respectivamente (TABELA 2).

TABELA 2 - Índice de Massa Corpórea (IMC) e da Potência aeróbia (VO_2 pico) das crianças participantes do estudo.

	TDC	Risco TDC	DT	P
N	21	16	51	
IMC (kg/m ²)	22.9 (5.5)	21.6 (6.4)	18.0 (3.13)	<0.01
VO_2 pico	43.6 (3.6)	43.4 (3.6)	46.8 (3.9)	<0.01

TDC – Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação; DT – Desenvolvimento Típico; p é a probabilidade que a diferença é estatisticamente significante; nível de significância, $p < .05$.

5.1.5 Formação dos grupos de crianças com TDC (Grupo TDC) e de crianças com DT (Grupo DT) pareados

A princípio todas as crianças identificadas com TDC deveriam participar das próximas fases do estudo, no entanto, das 21 crianças identificadas com TDC, 6 crianças ficaram impossibilitadas de participar do estudo, sendo que 3 foram avaliadas com IMC extremamente elevado e/ou potência aeróbia extremamente baixa impossibilitando encontrar um par com estas características no grupo de crianças identificadas com DT, 2 crianças não foram autorizadas pelos pais a participar da sequência do estudo e 1 criança devido a perda por artefato do eletrocardiograma. Dessa forma, 15 crianças (9 meninos e 6 meninas) formaram o Grupo TDC para participação da sequência do estudo, outras 15 crianças, identificadas com DT, foram pareadas em idade, sexo, IMC e VO_2 *pico* com as crianças do Grupo TDC para formar o Grupo DT.

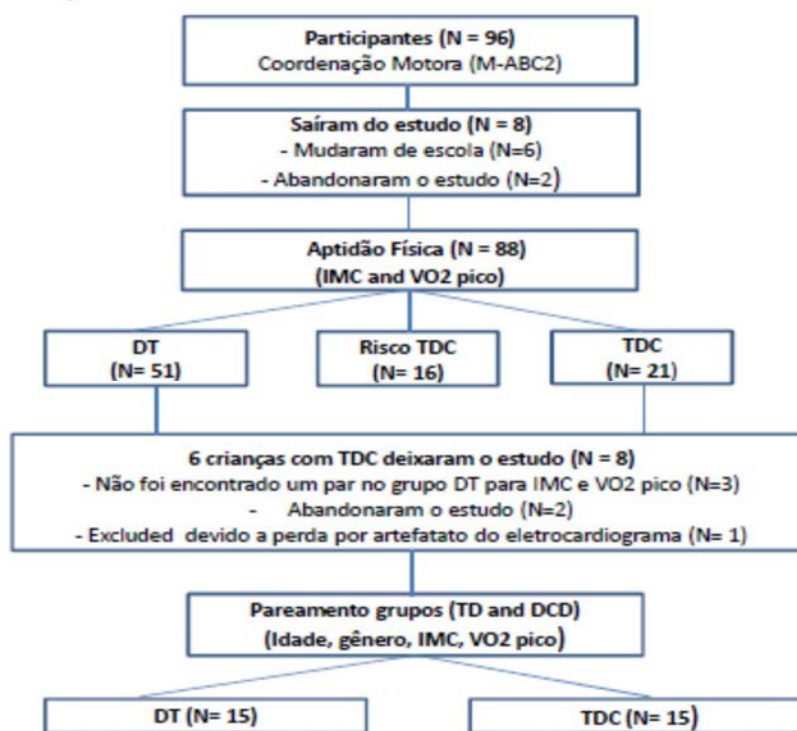
Para verificação do pareamento dos Grupos TDC e DT, foi aplicado o T-Test de Student para comparar os grupos quanto a Idade, IMC, VO_2 *pico*, DM score padrão, AR score padrão, EQ score padrão e score padrão Total do M-ABC-2. Os resultados foram apresentados na TABELA 3. O fluxograma apresentado na FIGURA 3 ilustra como foram selecionadas as crianças participantes do estudo.

TABELA 3 - Características dos Grupos de crianças com TDC e com DT quanto ao gênero, idade, desempenho no M-ABC-2, avaliação do Índice de Massa Corpórea (IMC) e da potência aeróbia (VO₂ pico) e resultados do M-ABC2 por componente.

	TDC	DT	P
MASCULINO (n)	9	9	
FEMININO (n)	6	6	
IDADE (meses)	129.7(14.8)	126.0 (14.6)	NS
IMC (kg/m ²)	21.6 (4.3)	19.8 (4.0)	NS
VO ₂ pico	44.2 (3.7)	45.0 (3.7)	NS
DM SCORE PADRÃO	6.1 (1.7)	10.0 (1.5)	<0.01
AR SCORE PADRÃO	6.7 (2.1)	11.0 (2.5)	<0.01
EQ SCORE PADRÃO	3.6 (1.7)	8.8 (2.1)	<0.01
SCORE PADRÃO TOTAL	4.0 (1.3)	9.8 (1.5)	<0.01
PERCENTIL TOTAL	3.1 (2.1)	47.6 (19.1)	

DM – Destreza Manual; AR – Arremesso; EQ – Equilíbrio; TDC – Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação; DT – Desenvolvimento Típico; p – é a probabilidade que a diferença é estatisticamente significativa; nível de significância com $p < .05$; NS = não significativo

FIGURA 3 – Fluxograma da seleção da amostragem do estudo.



M-ABC2 – Movement Assessment Battery for Children 2; IMC – Índice de Massa Corpórea; VO₂ pico – Volume pico de consumo de oxigênio; DT – Desenvolvimento Típico; TDC – Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação

5.2 Fase 2 - Modulação autonômica do Sistema Nervoso Autônomo em crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação em repouso com mudança de postura ativa

5.2.1 *Participantes*

Para formar o Grupo TDC da segunda fase do estudo, foram convidadas a participar todas as crianças identificadas com o Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC) na primeira fase do estudo. O grupo de crianças com DT (controle) foi pareado com o grupo de crianças com TDC em gênero, idade, IMC e potência aeróbia. O Grupo TDC desta fase do presente estudo foi formado por 15 crianças (9 meninos e 6 meninas) identificadas com TDC com idade entre 8 e 12 anos (média = 10,8 anos) e o Grupo DT foi formado por 15 crianças (9 meninos e 6 meninas) identificadas com TDC com idade entre 8 e 12 anos (média = 10,5 anos) de duas escolas de ensino público da cidade de Rio Claro. Os seguintes critérios para participação da fase 2 do estudo foram seguidos: (a) não consumo de bebidas alcóolicas ou uso do cigarro; (b) ausência de histórico de patologias com interferência conhecida na Variabilidade da Frequência Cardíaca (hipertensão, diabetes, déficit neurológico, doenças do coração, respiratórias ou musculoesqueléticas); (c) não uso de qualquer tipo de medicação.

5.2.3 *Materiais*

Para a aferição da pressão arterial, da frequência cardíaca de repouso e da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) dos participantes foram utilizados: esfigmomanômetro, estetoscópio e cardiofrequencímetro da marca Polar (modelo RS800 CX), cinta elástica com receptor e transmissor de mesma marca, validados

para utilização com crianças (GAMELIN, F. et al., 2008). Também foram utilizados: higrotermômetro, para verificação da umidade relativa do ar e temperatura ambiente; gel condutor, para facilitar a condução do sinal cardíaco ao receptor; álcool etílico, para higienização dos equipamentos entre coletas de dados; um cronômetro; uma maca; um travesseiro e lençol descartável.

5.2.4 Procedimentos

A coleta de dados da Fase 2, em específico da atividade cardíaca, foi realizada no Laboratório de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (LABORDAM) do Departamento de Educação Física do Instituto de Biociências da UNESP de Rio Claro. Para fins de adaptação da criança a este ambiente, as mesmas visitaram LABORDAM anteriormente ao dia em que os dados seriam coletados, foram ambientadas e familiarizadas com os equipamentos da coleta de dados, tiveram a pressão arterial registrada e receberam demais instruções prévias.

Durante a visita prévia, os participantes foram levados a conhecer a sala de coleta de dados onde foram coletadas e registradas a frequência cardíaca de repouso e a pressão arterial dos mesmos para serem utilizadas como referência. No dia anterior e no dia da coleta de dados experimentais, os participantes do estudo foram: (a) proibidos de realizarem atividade física vigorosa; (b) proibidos de ingerirem bebidas e ou alimentos estimulantes (café, refrigerantes a base de cola, energéticos, chocolates, barras energéticas); e (c) terem uma boa noite de sono. Ao final da visita foi agendada uma data para sequência do protocolo experimental do presente estudo. Todas as visitas do protocolo experimental

foram agendadas para o período da manhã entre as 8:00 e 10:00 horas para respeitar as diferenças de ritmo circadiano dos participantes. Este horário também foi escolhido tendo em vista que de modo geral a temperatura ambiental ser mais amena e a umidade relativa do ar mais alta quando comparada a outros períodos do dia, garantindo condições ambientais favoráveis à coleta de dados da VFC. Em todas as etapas da coleta de dados da atividade cardíaca do estudo o cronômetro foi sincronizado no tempo com o cardiofrequencímetro e a frequência respiratória das crianças por minuto em cada minuto da coleta de dados foi observada pelo movimento do tórax dos participantes e registrada pelo pesquisador colaborador. Durante a coleta de dados, em ambas as posições, o pesquisador detectava visualmente, pelo movimento do tórax da criança, a frequência respiratória por minuto em cada um dos minutos da coleta de dados. Este procedimento permitia verificar a ocorrência de sincronização da respiração com atividade do sistema nervoso autônomo parassimpático, via modulação. Somente os dados das crianças que apresentaram frequência respiratória acima de 12/minuto foram analisados.

5.2.5 Avaliação da Variabilidade da Frequência Cardíaca com mudança de postura ativa

No dia e horário agendado durante a visita prévia, os participantes foram levados individualmente à sala de coleta onde, primeiramente, foi verificado se os participantes seguiram as orientações prévias para realização da coleta de dados. No caso de resposta negativa, as crianças foram orientadas há retornar outro dia. No caso de resposta afirmativa, foi aferida a frequência cardíaca em repouso e

pressão arterial de cada criança. Se a frequência cardíaca e a pressão arterial estivessem normalizadas em repouso, de acordo com a referência registrada na visita prévia, os participantes foram considerados aptos a dar sequência ao protocolo experimental. Se a frequência cardíaca e/ou pressão arterial estivessem alterados em repouso, ou seja, alterações acima de 15% comparadas a frequência cardíaca e pressão arterial aferidas durante a visita prévia, os participantes eram convidados a retornar outro dia. Para as crianças consideradas aptas, as cintas elásticas com receptor de frequência cardíaca foram devidamente colocadas na cintura torácica na altura do processo xifoide das crianças e a comunicação com o cardiofrequencímetro foi testada. Via higrotermômetro, foram verificadas e registradas, sendo que foram consideradas adequadas para coleta de dados a umidade relativa do ar acima de 60% e abaixo de 80% e temperatura ambiental entre 20° e 24° C, caso contrário a coleta de dados era cancelada e agendada para outra data.

Estando cumpridos todos os pré-requisitos para a coleta de dados da VFC, as crianças recebiam instruções para que permanecessem quietas, sem falar e sem adormecer durante os procedimentos de coleta de dados. As crianças eram informadas que a coleta de dados na posição deitada em decúbito dorsal teria duração aproximada de 8 minutos e após este período de tempo elas deveriam se levantar e permanecer na posição em pé por, aproximadamente, mais 8 minutos. As crianças eram, então, convidadas a deitar na maca, em decúbito dorsal por 3 minutos, para que a frequência cardíaca se estabilizasse nesta posição. Após a estabilização, o pesquisador sincronizava um cronômetro com o tempo do relógio monitor para iniciar a coleta de dados da Variabilidade da Frequência Cardíaca.

Concluída a coleta de dados, ao participante foi oferecida a oportunidade de ingestão de água, caso estivesse com sede, ou de ida ao banheiro para necessidades básicas. Posteriormente, os participantes foram convidados a dar início aos procedimentos da Fase 3 do presente estudo.

5.3 Fase 3 - Modulação autonômica em crianças com TDC durante a realização de tarefa motora

5.3.1 *Participantes*

As mesmas crianças da Fase 2 do presente estudo, organizadas nos mesmos grupos TDC e DT, participaram da Fase 3.

5.3.2 *Materiais*

Foram utilizados os mesmos materiais da Fase 2 do presente estudo, além de 120 peças de dominó, duas caixas para guardar as peças e uma cartolina branca para a realização da tarefa motora com demanda de velocidade e precisão.

5.3.4 *Tarefa Motora*

Para a escolha da tarefa motora utilizada no presente estudo, uma série de fatores foi considerada:

1- deveria ser uma tarefa com características familiares às crianças, tal como as tarefas que as crianças realizam em jogos e brincadeiras, aulas de educação física, entre outras atividades do cotidiano.

2- deveria ser uma tarefa motora com características que as crianças com TDC já tivessem histórico de dificuldades motoras quando comparadas as

crianças com DT, como por exemplo, em tarefas motoras com demanda de velocidade e precisão realizada com os membros superiores.

3- devido a limitações dos procedimentos de análise da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC), deveria ser uma tarefa que tivesse duração de no mínimo 6 minutos, tempo necessário para obtenção de quantidade de intervalos R-R suficiente para análise da VFC com margem para escolha de trechos analisáveis (256 iR-R) e interpretação do sinal cardíaco. Também deveria ser uma tarefa com demanda energética baixa com frequência cardíaca estacionária.

Levando em consideração todos estes fatores acima, foi desenvolvida e testada em estudo piloto, primeiramente em adultos e posteriormente em crianças, uma tarefa que envolve a colocação em um tabuleiro de peças de dominós enfileiradas em posição predeterminada, com a mão dominante, o mais rápido possível e com o mínimo de erro possível, ou seja, de queda das peças. As crianças deveriam segurar a caixa que continha às peças de dominós com a mão não dominante. Caso alguma peça caísse, caracterizando um erro, as crianças eram instruídas a ignorar a peça caída e continuar a colocação de peças na sequência predeterminada.

As crianças foram informadas que cada peça colocada em pé consistia em um acerto e que somente um erro seria computado por queda de peças ocorridas ao mesmo tempo, ou seja, mesmo que a criança derrubasse mais de uma peça ao cometer um erro, somente um erro seria registrado. A tarefa teria duração de 6 minutos, sem interrupção, sendo que durante a sua realização as crianças não deveriam fazer perguntas, falar ou emitir sons para que não ocorresse interferência no sinal cardiológico captado e registrado pelo cardiófrequencímetro.

5.3.5 Modulação autonômica em crianças com TDC em repouso na posição sentada

Nesta fase do estudo, os procedimentos de coleta de dados foram realizados pelo pesquisador responsável com a colaboração de professor de Educação Física, pesquisador conhecido das crianças. O participante era posicionado na posição sentada em cadeira com regulagem de altura para que ficasse com os pés e braços apoiados de forma confortável. As crianças receberam instruções para que permanecessem quietas, sem falar e sem adormecer durante os procedimentos de coleta de dados, e que a coleta de dados, na posição sentada, teria duração aproximada de 8 minutos.

5.3.6 Modulação autonômica em crianças com TDC durante o recebimento de instrução para execução da tarefa motora.

Após o término da coleta de dados na posição sentada em repouso, os participantes foram convidados a permanecer sentados e em silêncio enquanto recebiam instrução para a realização da tarefa motora. A instrução foi passada sempre pelo pesquisador responsável do presente estudo de forma padronizada, pausadamente e teve duração de 6 minutos. A instrução foi baseada somente em informações relativas à tarefa motora e à forma de sua realização. Após a finalização da instrução, os participantes podiam tirar suas dúvidas com o pesquisador.

5.3.7 Modulação autonômica em crianças com TDC durante a realização prática da tarefa motora.

Para determinação da mão preferida, foi pedido que o participante escrevesse seu nome em uma folha de papel e a mão utilizada para a escrita do nome foi considerada como a preferida. Antes de iniciar a tentativa prática, os participantes foram informados a não se importarem com erros e acertos cometidos, pois se tratava de uma etapa de prática da tarefa e que o objetivo principal naquele momento era desenvolver suas habilidades para a etapa posterior de avaliação. Foi pedido aos participantes que realizassem a prática tranquilamente, explorando as diferentes estratégias disponíveis para o alcance da meta da tarefa. Após o entendimento pelos participantes do objetivo a ser alcançado nesta etapa, a tentativa prática da tarefa foi iniciada por comando verbal “pode começar”.

5.3.8 Modulação autonômica em crianças com TDC durante a realização da avaliação da tarefa motora.

Após um período de 2 minutos para descanso e recuperação da prática, os participantes eram informados que começaria a avaliação da tarefa motora. Nesta tentativa de avaliação, os participantes eram informados que o objetivo principal era obter o melhor desempenho possível, ou seja, colocar dominós em pé o mais rápido possível e com o menor número de erros durante os 6 minutos de realização da tarefa e que os acertos e os erros seriam computados para avaliar o desempenho. Após o entendimento pelos participantes do objetivo a ser alcançado nesta etapa, a tentativa de avaliação da tarefa foi iniciada pelo

comando verbal “pode começar”. Os acertos e os erros cometidos pelas crianças também foram anotados pelo pesquisador responsável para posterior análise.

Ao final da Etapa 4 de coleta de dados, a cinta elástica foi retirada dos participantes para ser higienizada e preparada para utilização posterior. Os pesquisadores agradeceram devidamente cada uma das crianças pela participação e, posteriormente, as encaminharam aos cuidados dos pais e/ou responsáveis.

5.4 Análise dos dados

Os dados obtidos do MABC-2 de todas as crianças foram tabulados em uma planilha, avaliados e analisados de acordo com o proposto por Henderson e colaboradores (2007). Os dados referentes à estatura, peso e potência aeróbia foram tabulados em uma planilha para posterior análise. O IMC foi calculado a partir dos componentes relativos a peso e estatura dos participantes, sendo que a seguinte fórmula foi utilizada: $IMC = \text{peso}/\text{estatura}^2$. A potência aeróbia (VO_2 pico) foi determinada de acordo com a idade das crianças a partir da comparação do resultado obtido no “teste máximo multi-estágios 20 metros Shuttle Run – 20-MST” (LEGER, L. A.; LAMBERT, 1982) com a tabela de referência do mesmo teste para determinação do VO_2 pico apresentada por Léger e colaboradores em 1988.

Os dados dos intervalos R-R obtidos pelo cardiofrequencímetro para análise da VFC foram passados do cardiofrequencímetro para o computador. No computador, os dados foram extraídos do software Pro-trainer 5 (Polar Electro Oy) em formato “.txt” e posteriormente tabulados. A análise espectral da VFC do

presente estudo foi realizada nos algoritmos de Modelo Autorregressivo (MALLIANI; MONTANO, 2002; PAGANI et al., 1986) desenvolvido por Alberto Porta na Universidade de Milão (software AR24.exe versão 1.2) aplicado à série temporal de iR-R previamente selecionada (256 pontos). As bandas de muito baixa frequência (MBF – entre 0 e 0,04 Hz), baixa frequência (BF – entre 0,04 e 0,15 Hz) e alta frequência (AF – entre 0,15 e 0,50 Hz) foram obtidas. Neste estudo, foram utilizadas as bandas de BF e AF que melhor representam a modulação cardíaca simpática e vagal, respectivamente (TASK FORCE, 1996).

Os componentes espectrais foram expressos em unidades normalizadas (BFun) e em unidades absolutas (AFabs), também foi expressa a razão BF/AF (razão entre as bandas de baixa frequência e alta frequência) indicativa do equilíbrio simpato-vagal (TASK FORCE, 1996). A normalização da BF foi realizada a partir da divisão de BFabs pela potência total (MBFabs + LFabs + HFabs) menos a potência referente à MBFabs, multiplicando-se a razão por 100 (MALLIANI; MONTANO, 2002; PAGANI et al., 1986).

As análises não lineares da VFC no presente estudo foram realizadas a partir da análise simbólica (PORTA, A. et al., 2001) e da Entropia Condicional (PORTA, A et al., 1998) das séries temporais de iR-R (256 pontos) previamente selecionadas e editadas manualmente. Para estas análises foram utilizados o software *Symbolic Analysis (Light Version) versão 5.0+* para a análise simbólica e o software *Complexity Analyses and Conditional Entropy versão 4.03* para a análise da Entropia Condicional, sendo que ambos foram desenvolvidos por Alberto Porta na Universidade de Milão. Os resultados da análise simbólica foram expressos em $\emptyset V$ (%) para o componente simpático e 2VD (%) para o

componente parassimpático da modulação autonômica (PORTA, A et al., 2007b) e os resultados da Entropia Condicional foram expressos pelo Índice de Complexidade Normalizado (ICN), sendo que quanto maior o resultado do IEC maior a irregularidade e maior a complexidade da série. Ou seja, quanto maior a complexidade, maior a modulação parassimpática do SNA no comportamento do coração (PORTA, A et al., 2007a).

5.5 Tratamentos estatístico

Para análise estatística dos dados foi utilizado o pacote estatístico *Statistica 7.0 for Windows*. Cada conjunto de dados obtido das variáveis independentes (Média iR-R, Variância dos iR-R, Baixa Frequência normalizada (BF un), Alta Frequência absoluta (AF abs), relação BF/AF, Zero Variação (0V), Duas Variações Diferentes (2VD) e Índice de Complexidade Normalizado (ICN)) foram testados separadamente quanto à sua normalidade pelo teste Shapiro Wilk's W. Os dados que passaram no teste de normalidade foram analisados por estatística paramétrica enquanto os dados que não passaram no teste de normalidade foram analisados por estatística não paramétrica. Para as análises paramétricas que envolviam apenas duas variáveis foi utilizado o T-Test de Student nas médias e desvios padrão e para as que envolviam mais de duas variáveis foram realizadas Análises de Variância com medidas repetida nas médias e desvios padrão. As diferenças significativas nos fatores principais foram testadas pelo T-Test de Student com correção de *Bonferroni*, com nível de alfa $p < 0.01$ (4 fatores independentes).

Para as análises não paramétricas intergrupos foi aplicado o teste U de Mann-Whitney nas médias e desvios padrão das variáveis independentes. Para as análises não paramétricas intragrupos com duas variáveis foi aplicado o teste pareado de Wilcoxon com o nível de alfa de 0.05 para detectar diferenças estatisticamente significativas entre as variáveis analisadas. A ANOVA de Friedman foi aplicada para análise não paramétrica intragrupos para mais de duas variáveis sendo que as diferenças significativas nos fatores principais foram testadas a posteriori pelo teste pareado de Wilcoxon com o nível de alfa corrigido de acordo com *Bonferroni* para 0.01 (4 fatores independentes) para detectar diferenças significativas.

6 RESULTADOS

6.1 Modulação autonômica em crianças com TDC em repouso com mudança de postura ativa

Nesta seção são apresentados os resultados da comparação da modulação do Sistema Nervoso Autônomo de crianças identificadas com TDC com crianças identificadas com DT através da Variabilidade da Frequência Cardíaca na mudança de postura ativa, da posição supino (deitada) para a posição ortostática (em pé). Para fazer tais comparações foram realizadas análises lineares e não lineares da VFC em ambas as posições (TABELA 4).

TABELA 4 - Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) de ambos os grupos em teste com mudança de postura ativa, da posição em supino (deitada) para a posição ortostática em pé do grupo de crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC) e do grupo de crianças com Desenvolvimento Típico (DT).

Análise Linear	TDC			DT		
	Supino	Ortostatismo	<i>p</i>	Supino	Ortostatismo	<i>p</i>
Média iR-R (ms)	723 (89)	595 (55)	< 0.001	786 (101)	630 (59)	< .001
Var (ms)	3077 (2485)	1779 (1438)	< 0.05 ¹	4065 (4024)	2039 (1068)	ns ¹
BFun (%)	28.6 (14.9)	66.5 (19.3)	< 0.001	21.6 (12.8)	64 (15.2)	< .001
AFabs (ms ²)	1785 (1670)	365 (535)	< 0.001 ¹	2630 (2854)	444 (475)	< .001 ¹
BF/AF	0.58 (0.64)	6.61(13.06)	< 0.001 ¹	0.33 (0.22)	2.8 (2.26)	< .001 ¹
Análise não linear						
ØV (%)	11.92 (7.33)	37.07 (11.47)	< 0.001	8.86 (6.56)	35.58 (12.51)	< .001
2VD (%)	22.22 (6.57)	7.03 (2.92)	< 0.001	25.86 (8.02)	8.94 (4.21)	< .001
ICN	0.8 (0.05)	0.59 (0.07)	< 0.001	0.81 (0.06)	0.63 (0.09)	< .001

*iR-R – intervalos R-R; Var – Variância dos iR-R; BFun – Baixa Frequência normalizada; AFabs – Alta Frequência em unidade absoluta, BF/AF – relação entre a baixa Frequência e a Alta Frequência, ØV – zero variações na análise simbólica, 2VD – 2 Variações Diferentes na análise simbólica, ICN – Índice de Complexidade Normalizado; *p* é a probabilidade que a diferença é estatisticamente significativa nas comparações intragrupos por condição; nível de significância com *p* < .05; NS = diferença não significativa; ¹ = análises estatísticas não paramétricas*

Os resultados do T-Test de Student aplicado as médias dos iR-R não revelaram diferenças significativas entre o Grupo TDC e Grupo DT tanto na posição supino como na posição ortostática, $t(30) = 1,80$ $p = 0,08$ e $t(30) = 1,70$, $p < 0,09$, respectivamente. Os resultados do T-Test de Student aplicado nas comparações entre os valores das médias dos iR-R na posição supino e na posição ortostática intragrupos independentes revelaram efeito significativo para o Grupo TDC e Grupo DT, $t(30) = 4,73$ $p < 0,001$ e $t(30) = 4,51$, $p < 0,001$, respectivamente. Ou seja, ambos os grupos de crianças respondem a mudança de postura ativa diminuindo os valores dos iR-R da posição supino para a posição ortostática.

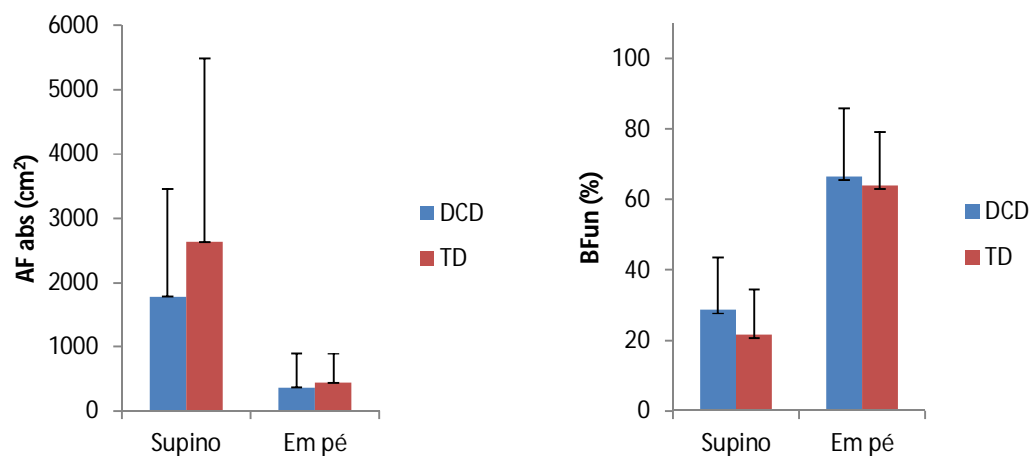
Os resultados do teste U de Mann-Whitney aplicado a variância dos iR-R não revelaram diferenças significativas entre o Grupo TDC e Grupo DT tanto na posição supino como na posição ortostática, $Z(30) = 0,47$ $p = 0,63$ e $Z(30) = 1,01$ $p = < 0,30$, respectivamente. Os resultados do teste pareado de Wilcoxon aplicado nas comparações entre os valores da variância dos iR-R na posição em supino e na posição ortostática intragrupos independentes revelaram efeito significativo para o Grupo TDC e efeito não significativo para o Grupo DT, $Z(15) = 2,21$ $p < 0,05$ e $Z(15) = 1,47$, $p = 0,13$, respectivamente. Ou seja, o Grupo TDC diminui a variância da posição supino para a posição ortostática enquanto o Grupo DT não se altera.

Os resultados do T-Test de Student aplicado a potência das ondas de BFun não revelaram diferenças significativas entre o Grupo TDC e Grupo DT tanto na posição supino como na posição ortostática, $t(30) = 1,41$, $p = 0,16$ e $t(30) = 0,39$, $p = 0,69$, respectivamente. Os resultados do T-Test de Student aplicado

nas comparações entre a potência das ondas de BFun na posição supino e na posição ortostática intragrupos independentes revelaram efeito significativo para o Grupo TDC e Grupo DT, $t(30) = 6,01$ $p < 0,001$ e $t(30) = 8,41$, $p < 0,001$, respectivamente. Ou seja, ambos os grupos de crianças respondem a mudança de postura ativa aumentando os valores da potência das ondas de BFun da posição supino para a posição ortostática (FIGURA 3).

Os resultados do teste U de Mann-Whitney aplicado a potência das ondas de AFabs não revelaram diferenças significativas entre o Grupo TDC e Grupo DT tanto na posição supino como na posição ortostática, $Z(30) = 0,68$ $p = 0,49$ e $Z(30) = 1,05$ $p = < 0,29$, respectivamente. Os resultados do teste pareado de Wilcoxon aplicado nas comparações entre os valores da potência das ondas de AFabs na posição supino e na posição ortostática intragrupos independentes revelaram efeito significativo para o Grupo TDC e para o Grupo DT, $Z(15) = 3,40$ $p < 0,001$ e $Z(15) = 3,23$, $p = 0,01$, respectivamente. Ou seja, ambos os grupos diminuem os valores da potência das ondas de AFabs da posição supino para a posição ortostática (FIGURA 4).

FIGURA 4 – Análise espectral da VFC em crianças com DT e DT em teste com mudança de postura ativa.



AFabs – Alta Frequência em valores absolutos; BFun – Baixa Frequência em unidades normalizadas

Os resultados do teste U de Mann-Whitney aplicado aos valores da relação entre a potência das ondas de BF e AF (BF/AF) não revelaram diferenças significativas entre o Grupo TDC e Grupo DT tanto na posição supino como na posição ortostática, $Z(30) = 0,91$ $p = 0,36$ e $Z(30) = 0,72$ $p = 0,46$, respectivamente. Os resultados do teste pareado de Wilcoxon aplicado nas comparações entre os valores da relação entre a potência das ondas de BF e AF (BF/AF) na posição supino e na posição ortostática intragrupos independentes revelaram efeito significativo para o Grupo TDC e para o Grupo DT, $Z(15) = 3,35$ $p < 0,001$ e $Z(15) = 3,35$, $p = 0,001$, respectivamente. Ou seja, ambos os grupos diminuem o equilíbrio da modulação do SNA (BF/HF) da posição em supino para a posição ortostática.

Os resultados do T-Test de Student aplicado aos valores percentuais de nenhuma variação ($\emptyset V$) nas análises simbólicas da VFC não revelaram diferenças significativas entre o Grupo TDC e Grupo DT tanto na posição supino

como na posição ortostática, $t(30) = 1,20$, $p = 0,23$ e $t(30) = 0,33$, $p = 0,73$, respectivamente. Os resultados do T-Test de Student aplicado nas comparações entre os valores percentuais de nenhuma variação ($\emptyset V$) nas análises simbólicas da VFC na posição supino e na posição ortostática intragrupos independentes revelaram efeito significativo para o Grupo TDC e Grupo DT, $t(30) = 7,15$, $p < 0,001$ e $t(30) = 7,32$, $p < 0,001$, respectivamente. Ou seja, ambos os grupos de crianças respondem a mudança de postura ativa aumentando os valores os valores percentuais de nenhuma variação ($\emptyset V$) nas análises simbólicas da VFC da posição supino para a posição ortostática.

Os resultados do T-Test de Student aplicado aos valores percentuais de duas variações diferentes (2VD) nas análises simbólicas da VFC não revelaram diferenças significativas entre o Grupo TDC e Grupo DT tanto na posição supino como na posição ortostática, $t(30) = 1,35$, $p = 0,18$ e $t(30) = 1,44$, $p = 0,16$, respectivamente. Os resultados do T-Test de Student aplicado nas comparações entre os valores percentuais de duas variações diferentes (2VD) na posição supino e na posição ortostática intragrupos independentes revelaram efeito significativo para o Grupo TDC e Grupo DT, $t(30) = 4,34$, $p < 0,001$ e $t(30) = 7,23$, $p < 0,001$, respectivamente. Ou seja, ambos os grupos de crianças respondem a mudança de postura ativa diminuindo os valores percentuais de duas variações diferentes (2VD) da posição em supino para a posição ortostática.

Os resultados do T-Test de Student aplicado ao índice de complexidade normalizado (ICN) não revelaram diferenças significativas entre o Grupo TDC e Grupo DT tanto na posição em supino como na posição ortostática, $t(30) = 0,46$, $p = 0,64$ e $t(30) = 1,35$, $p = 0,18$, respectivamente. Os resultados do T-Test de

Student aplicado nas comparações entre os ICN na posição supino e na posição ortostática intragrupos independentes revelaram efeito significativo para o Grupo TDC e Grupo DT, $t(30) = 8,78$ $p < 0,001$ e $t(30) = 6,17$, $p < 0,001$, respectivamente. Ou seja, ambos os grupos de crianças respondem a de mudança de postura ativa diminuindo os valores do ICN da posição supino para a posição ortostática.

6.3 Modulação autonômica em crianças com TDC durante as etapas da realização de uma tarefa motora

O objetivo desta fase do estudo foi comparar a modulação do Sistema Nervoso Autônomo de crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC) com a de crianças com Desenvolvimento Típico (DT) através da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) nas fases da realização de uma tarefa motora com demanda de velocidade e precisão. Para fazer tais comparações foram realizadas análises lineares e não lineares da VFC na posição sentada: (a) em repouso, (b) durante o recebimento de instrução para realização da tarefa, (c) durante uma tentativa prática e (d) durante uma tentativa de avaliação (TABELA 5).

TABELA 5 - Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) de ambos os grupos durante as etapas de realização de tarefa motora e do Desempenho da Tarefa Motora do grupo de crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC) e do grupo de crianças com Desenvolvimento Típico (DT)

TDC					
Análise Linear	Repouso	Instrução	Prática	Avaliação	<i>p</i>
Média iR-R (ms)	700 (90.8)	688 (88.6)	661 (76.4)	642 (71.2)	.21
Var (ms)	3321 (2861)	3453 (3198)	1915 (1442)	1721 (1225)	< .01 ¹
BFun (%)	44.55 (16.95)	43.12 (20.94)	52.46 (16.69)	51.89 (18.83)	.38
AF (ms ²)	1483 (1660)	1352 (1443)	720 (713)	668 (723)	< .01 ¹
BF/AF	1.75 (3.84)	3.39 (3.92)	1.66 (1.19)	2.81 (5.05)	.43 ¹
Análise não linear					
ØV (%)	17.09 (9.56)	20.70 (12.00)	21.30 (12.29)	21.12 (10.12)	.69
2VD (%)	16.49 (5.22)	17.93 (6.82)	17.69 (7.17)	17.69 (8.09)	.94
ICN	0.75 (0.08)	0.74 (0.10)	0.77 (0.07)	0.77 (0.10)	.16 ¹
Desempenho Motor					
Acertos	x	X	70.93 (15.91)	79.26 (16.16)	
Acertos/Erros	x	X	3.63 (1.44)	4.96 (2.58)	
DT					
Análise Linear	Repouso	Instrução	Prática	Avaliação	<i>p</i>
Média iR-R (ms)	728 (75.1)	720 (78.4)	706 (68.9)	691 (67.8)	.53
Var (ms)	5448 (4107)	5084 (2866)	2960 (1736)	2365 (1330)	< .001 ¹
BF nu (%)	43.35 (17.44)	54.95 (12.90)	29.84 (10.85)	40.27 (14.22)	< .001
AF (ms ²)	2397 (2133)	1629 (1419)	1296 (1076)	986 (766)	< .01 ¹
BF/AF	1.15 (1.33)	1.67 (1.05)	0.53 (0.33)	0.90 (0.57)	< .001 ¹
Análise não linear					
ØV (%)	18.79 (10.03)	22.98 (10.18)	17.35 (8.44)	17.75 (7.72)	.32
2VD (%)	15.73 (6.71)	16.88 (6.78)	22.92 (7.50)	17.69 (5.74)	< .01
ICN	0.75 (0.07)	0.75 (0.08)	0.82 (0.05)	0.81 (0.05)	< .01 ¹
Desempenho Motor					
Acertos	x	X	88.6 (15.91)	94.13 (14.65)	
Acertos/Erros	x	X	8.36 (6.85)	12.54 (11.11)	

iR-R – intervalos R-R; *Var* – Variância dos iR-R; *BFun* – Baixa Frequência normalizada; *AFabs* – Alta Frequência em unidade absoluta, *BF/AF* – relação entre a baixa Frequência e a Alta Frequência, *ØV* – zero variações na análise simbólica, *2VD* – 2 Variações Diferentes na análise simbólica, *ICN* – Índice de Complexidade Normalizado; *p* é a probabilidade que a diferença é estatisticamente significativa nas comparações intragrupos por condição; nível de significância com $p < .05$; NS = diferença não significativa; ¹ = análises estatísticas não paramétricas ¹ = análises estatísticas não paramétricas.

Os resultados da ANOVA 2 (Grupo) X 4 (Condição) com medidas repetidas no fator condição aplicada as médias dos iR-R não revelaram efeito na interação dos fatores Grupo x Condição e Grupo, $F(3,84) = 0,90$ $p = 0,44$, $\text{partial } \eta^2 = 0,03$ e $F(1,28) = 2,07$ $p = 0,16$, $\text{partial } \eta^2 = 0,06$, respectivamente, e efeito significativo no fator Condição, $F(3,84) = 15,3$, $p < 0,001$, $\text{partial } \eta^2 = 0,48$ (Tabela 5).

Os resultados do teste U de Mann-Whitney aplicado a variância dos iR-R não revelaram diferenças significativas entre os grupos TDC e DT em nenhuma etapa da realização da tarefa. Os resultados da ANOVA de Friedman realizada para a variância dos iR-R revelam diferença significativa no fator Condição para ambos os grupos DCD e DT, $F(3,15) = 16,2$, $p < 0,01$ e $F(3,15) = 28,2$, $p < 0,001$, respectivamente. As análises posteriores, teste pareado de Wilcoxon, mostraram que o grupo TDC diminuiu a variância da condição sentado em repouso e durante o recebimento da instrução para a tentativa prática, $p = < 0,01$ e $p = < 0,01$, respectivamente, e para a tentativa de avaliação da realização da tarefa, $p = < 0,01$ e $p = < 0,01$, respectivamente. As análises posteriores mostraram que o grupo DT diminuiu a variância da condição sentado em repouso e durante o recebimento da instrução para a tentativa prática, $p = < 0,01$ e $p = < 0,01$, respectivamente, e para a tentativa de avaliação da realização da tarefa, $p = < 0,01$ e $p = < 0,001$, respectivamente.

Os resultados da ANOVA 2 (Grupo) X 4 (Condição) com medidas repetidas no fator condição aplicada a potência das ondas de BFun não revelaram efeito significativo nos fatores Grupo e Condição, $F(1,28) = 1,50$ $p = 0,22$, $\text{partial } \eta^2 = 0,05$ e $F(3,84) = 2,61$ $p = 0,05$, $\text{partial } \eta^2 = 0,08$, respectivamente, e efeito significativo na interação dos fatores Grupo x Condição, $F(3,84) = 12,7$, $p = <$

0,001, partial $\eta^2 = 0,31$. As análises posteriores T-Test de Student indicaram que as crianças com TDC não alteram os valores de BFun nas diferentes fases da realização da tarefa. Por sua vez, as crianças com DT diminuem os valores de BFun do recebimento de instrução para a tentativa prática e tentativa de avaliação da realização da tarefa motora, $p = < 0,001$ e $p = < 0,01$, respectivamente. As análises posteriores indicaram ainda que as crianças com TDC apresentam potência de BFun superiores às das crianças com DT na realização da prática, $p = < 0,001$.

Os resultados do teste U de Mann-Whitney aplicado aos valores das ondas de AFabs revelaram diferenças significativas entre os grupos TDC e DT somente na tentativa prática de realização da tarefa motora, $Z(30) = 2,17$ $p = 0,02$. Os resultados da ANOVA de Friedman realizada para a avaliação da potência das ondas de AFabs revelaram diferença significativa no fator Condição para ambos os grupos TDC e DT, $F(3,15) = 14,8$, $p = < 0,01$ e $F(3,15) = 15,8$, $p = < 0,01$. As análises posteriores, teste pareado de Wilcoxon, revelaram que o grupo TDC diminuiu a potência da AFabs da condição sentado em repouso e durante o recebimento da instrução para a tentativa prática, $p = < 0,01$ e $p = < 0,01$, respectivamente, e para a tentativa de avaliação da realização da tarefa, $p = < 0,01$ e $p = < 0,01$, respectivamente. As análises posteriores revelaram que o grupo DT diminuiu a potência da AFabs da condição sentado em repouso para a tentativa prática e tentativa de avaliação, $p = < 0,01$ e $p = < 0,01$, respectivamente, e diferentemente do grupo TDC, o grupo DT apresenta diminuição na potência de AFabs da instrução apenas para a tentativa de avaliação da realização da tarefa, $p < 0,01$ e não para a tentativa prática.

Os resultados do teste U de Mann-Whitney aplicado aos valores da relação entre as potências das ondas de BF e AF (BF/AF) revelaram diferenças significativas entre os grupos TDC e DT somente na tentativa prática de realização da tarefa motora, $Z(30) = 3,29$ $p < 0,001$. Os resultados da ANOVA de Friedman, realizada para BF/AF, não revelaram diferença significativa no fator Condição para o grupo TDC, $F(3,15) = 2,76$, $p < 0,43$ e diferença significativa para o grupo DT, $F(3,15) = 18,3$, $p < 0,001$. As análises posteriores, teste pareado de Wilcoxon, mostraram que o grupo DT diminui BF/AF do recebimento da instrução para a realização da tentativa prática e para a da tentativa de avaliação, $p < 0,001$ e $p < 0,01$, respectivamente, e aumenta BF/AF da tentativa prática para a tentativa de avaliação, $p < 0,01$.

Os resultados da ANOVA 2 (Grupo) X 4 (Condição) com medidas repetidas no fator condição aplicada aos valores percentuais de nenhuma variação ($\emptyset V$) nas análises simbólicas da VFC não revelaram efeito no fator Grupo, Condição e na interação dos fatores Grupo x Condição nas fases de realização da tarefa motora, $F(1,28) = 0,08$ $p = 0,77$, $\text{partial } \eta^2 = 0,002$, $F(3,84) = 1,48$ $p = 0,22$, $\text{partial } \eta^2 = 0,05$ e $F(3,84) = 1,52$ $p = < 0,21$, $\text{partial } \eta^2 = 0,05$, respectivamente.

Os resultados da ANOVA 2 (Grupo) X 4 (Condição) com medidas repetidas no fator condição aplicada aos valores percentuais de duas variações diferentes (2VD) nas análises simbólicas da VFC não revelaram efeito no fator Grupo, $F(1,28) = 0,57$ $p = 0,45$, $\text{partial } \eta^2 = 0,02$, e efeito no fator Condição e na interação dos fatores Grupo x Condição nas fases de realização da tarefa motora, $F(3,84) = 4,63$ $p = < 0,01$, $\text{partial } \eta^2 = 0,14$ e $F(3,84) = 3,07$ $p = < 0,05$, $\text{partial } \eta^2 = 0,09$, respectivamente. As análises posteriores T-Test de Student indicaram que as

crianças com TDC não alteram os valores de 2VD nas diferentes etapas da realização da tarefa. As crianças com DT aumentam os valores de 2VD da condição sentada em repouso para a tentativa prática de execução da tarefa motora, $p = < 0,01$.

Os resultados do teste U de Mann-Whitney aplicado ao índice de complexidade normalizada (ICN) não revelaram diferenças significativas entre os grupos TDC e DT em nenhuma das fases de realização da tarefa. Os resultados da ANOVA de Friedman realizada para o ICN não revelaram diferença significativa no fator Condição para o grupo TDC, $F(3,15) = 3,96$, $p = 0,26$ e diferença significativa para o grupo DT, $F(3,15) = 11,8$, $p = < 0,01$. As análises posteriores do ICN, teste pareado de Wilcoxon, mostraram que o grupo DT aumenta os valores do ICN da condição sentado em repouso e do recebimento da instrução para a tentativa prática, $p = < 0,01$ e $p = < 0,01$, respectivamente, e do recebimento de instrução para a tentativa de avaliação, $p = < 0,01$.

Os resultados do T-Test de Student aplicado ao número de acertos revelaram diferenças significativas entre o desempenho do grupo TDC e do grupo DT nas tentativas prática e avaliação de realização da tarefa motora, $t(30) = 3,10$, $p < 0,01$ e $t(30) = 2,63$, $p < 0,01$, respectivamente. O grupo TDC apresentou desempenho inferior ao do grupo DT. Resultados semelhantes foram revelados no teste U de Mann-Whitney realizado da relação acerto e erro (acerto/erro) no desempenho da tarefa, sendo que o grupo TDC apresentou desempenho significativamente inferior ao do grupo DT na realização da tentativa prática e avaliação, $Z(30) = 3,33$, $p = < 0,001$ e $Z(30) = 2,13$, $p = < 0,05$, respectivamente.

7 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo é verificar o envolvimento e/ou papel do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) nas dificuldades apresentadas por crianças com o Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC). Em específico, comparar a modulação do SNA de crianças com TDC com crianças com Desenvolvimento Típico em condições básicas durante o repouso e durante o desempenho de tarefa motora. A hipótese é que crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC) apresentam padrão de modulação do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) atípico daquele apresentado por crianças com Desenvolvimento Típico (DT). Tal resultado explicaria as dificuldades apresentadas por crianças com TDC na aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras.

Para avaliar a modulação do SNA foram utilizadas análises da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC). Segundo Michels e colaboradores (2013a), em crianças, a VFC é influenciada pela idade, gênero e capacidade aeróbia enquanto para outros autores (ALTUNCU et al., 2012; BIRCH et al., 2012; GUTIN et al., 2000; PASCHOAL et al., 2009; RUSSONIELLO et al., 2002) a VFC também se altera em função do Índice de Massa Corpórea (IMC). Portanto, os estudos que utilizam a VFC em crianças devem levar em consideração a idade, gênero, capacidade aeróbia e IMC das crianças.

Vários estudos evidenciaram que crianças com TDC apresentam pobre capacidade aeróbia e alto IMC quando comparadas com crianças com DT (CAIRNEY et al., 2005a; CAIRNEY et al., 2010b; COVERDALE et al., 2012; WU et al., 2011; WU et al., 2010). De modo similar, no presente estudo as análises

comparativas entre o IMC e a capacidade aeróbia (VO_2 *pico*) das crianças revelaram que aquelas com TDC apresentam maior IMC e menor VO_2 *pico* que crianças com DT. No presente estudo, as comparações da VFC entre as crianças com TDC e as com DT foram realizadas com grupos de crianças (TDC e DT) pareados quanto a idade, gênero, VO_2 *pico* e IMC. Este pareamento foi realizado em função da relação entre a aprendizagem, coordenação e controle motor e a modulação autonômica do SNA.

7.1 Modulação do Sistema Nervoso Autônomo em crianças com mudança de postura ativa

A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) tem sido testada e reconhecida como importante marcador de estresse e ansiedade nos indivíduos (THAYER *et al.*, 2012), inclusive em crianças (MICHELS *et al.*, 2013b). Mais especificamente, o estresse crônico em crianças tem sido associado a baixa VFC, analisada na posição supino em repouso com baixos valores de Alta Frequência (AF) e desequilíbrio na relação AF/Baixa Frequência (BF).

Crianças com TDC têm sido amplamente diagnosticadas com traços de estresse e ansiedade através de questionários (PIEK *et al.*, 2008; PRATT; HILL, 2011; SKINNER; PIEK, 2001). No presente estudo, com intervalos R-R (iR-R) coletados na posição supino, os resultados da análise da VFC de crianças com TDC não indicam que estas apresentam estresse crônico. Os resultados do presente estudo revelaram que as crianças com TDC são semelhantes às crianças com DT nesta condição e que ambos os grupos de crianças (com TDC e DT) apresentam modulação predominantemente parassimpática em repouso na

posição supino, resultado este esperado para indivíduos saudáveis (TASK FORCE, 1996). Nesta condição, este padrão parassimpático de modulação autonômica foi observado quando do uso de métodos de análises lineares como nos métodos de análises não lineares da VFC.

Coverdale e colaboradores (2012), em estudo realizado com adolescentes entre 12 e 14 anos de idade com provável TDC (pTDC) não verificaram diferenças significativas entre os adolescentes com pTDC e os adolescentes com DT nas análises da VFC em repouso na posição supino. No entanto, os autores verificaram que os adolescentes com pTDC apresentaram valores de AFabs inferiores aos valores dos adolescentes com DT e ainda um certo desequilíbrio na relação (BF/AF), indicando modulação parassimpática relativamente baixa para os adolescentes com pTDC em relação aos adolescentes com DT. Os autores atribuíram estes resultados ao fato dos adolescentes com pTDC, participantes daquele estudo, terem obtido baixo desempenho nos testes de potência aeróbia e alto percentual de gordura corporal comparados aos participantes com DT. Diferentemente do presente estudo, para fins de análise da VFC, naquele estudo, os participantes do grupo de adolescentes com pTDC e do grupo de adolescentes com DT não foram pareados quanto ao VO_2 pico e percentual de gordura corporal.

Em análises da VFC, o equilíbrio autonômico é comumente avaliado pelo teste com mudança de postura ativa, da posição supino para a posição ortostática. De modo geral, indivíduos saudáveis independente da idade respondem se adaptando a mudança de postura ativa, de uma modulação predominantemente parassimpática na posição supino para uma modulação

predominantemente simpática na posição ortostática (ALEHAN et al., 1996; LEWIS et al., 1997; PICCIRILLO et al., 1997; TASK FORCE, 1996). Em estudo realizado com crianças com Paralisia Infantil, Zamuner e colaboradores (2011) verificaram que na posição supino crianças com esta condição apresentam modulação predominantemente simpática comparadas com a das crianças normais. Além disso, elas não se adaptam de forma adequada, como as crianças normais, de modulação predominantemente parassimpática na posição supino para modulação predominantemente simpática na posição ortostática. Este resultado é explicado, pelos autores, levando em consideração que ficar na posição supino já representa maior demanda energética e dificuldade para as crianças com Paralisia Infantil e que os problemas neurofisiológicos dessas crianças são os principais responsáveis pela pobre adaptabilidade na mudança de postura.

Ao contrário dos resultados apresentados no estudo realizado com crianças com Paralisia Infantil, os resultados do presente estudo revelaram que as crianças com TDC apresentam equilíbrio autonômico adequado quando avaliadas pelo teste com mudança de postura ativa. As crianças com TDC responderam a mudança de postura de forma semelhante às crianças com DT, se adaptando de modulação predominantemente parassimpática na posição supino para modulação predominantemente simpática na posição ortostática.

Os resultados dos estudos citados anteriormente juntamente com os resultados do presente estudo revelam que a modulação parassimpática relativamente baixa do SNA na posição deitada e a baixa adaptabilidade em resposta à mudança de postura não é um comportamento típico relacionado com

o Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação. Com base na revisão da literatura, podemos afirmar que este é o primeiro estudo realizado com teste de mudança de postura ativa em crianças com TDC. Os principais avanços obtidos no entendimento destas crianças, a partir deste procedimento, se referem a evidências apresentadas de que o sistema neurofisiológico de crianças com TDC responde e se adapta adequadamente as demandas posturais básicas.

7.2 Modulação do Sistema Nervoso Autônomo em crianças com TDC durante as etapas de realização de tarefa motora

De acordo com os resultados apresentados pelas crianças com TDC no teste com mudança de postura ativa, era esperado que as crianças com TDC em repouso, na posição sentada, apresentariam modulação autonômica semelhante às das crianças com DT. Os resultados da VFC do presente estudo mostraram que os grupos de crianças não apresentam diferenças significativas entre eles em nenhuma das variáveis autonômicas na posição sentada. Além disso, os resultados da VFC na posição sentada apresentaram valores intermediários entre a posição supino e a ortostática em todas as variáveis da VFC analisadas. Estes resultados apontam coerência nas coletas da VFC, visto que em indivíduos saudáveis as adaptações autonômicas do SNA devem responder a demanda específica da postura corporal (TASK FORCE, 1996), a demanda na posição sentado em repouso é intermediária entre a posição deitado e a ortostática.

A segunda condição desta fase do estudo consistia na coleta de dados para análise da VFC durante o recebimento de instrução para realização de tarefa motora com demanda de velocidade e precisão. O resultado esperado era que as

crianças com TDC apresentassem modulação do SNA atípica, em relação a modulação do SNA das crianças com DT. Mais especificamente, esperava-se que as crianças com TDC ao receberem informação sobre a natureza e dificuldade da tarefa motora com alta demanda de velocidade e precisão apresentassem modulação predominantemente simpática diferente da apresentada pelas crianças com DT. Este comportamento era esperado devido ao fato das crianças com TDC serem comumente estressadas e/ou ansiosas, desencorajadas, constrangidas e/ou inibidas a realizar tarefas motoras desta natureza (FRANCIS; PIEK, 2003; PRATT; HILL, 2011; SKINNER; PIEK, 2001).

Os resultados das análises da VFC do presente estudo não confirmaram a expectativa, pois, ao contrário do esperado, as crianças com TDC não apresentaram diferenças significativas de modulação do SNA quando do recebimento de instrução, comparadas às crianças com DT. Estes resultados indicam que as crianças com TDC não se estressam ou se inibem no momento em que recebem instrução para realização da tarefa motora utilizada no presente estudo.

Outro resultado importante foi observado nas comparações da VFC entre as condições sentado em repouso com a de recebimento de instrução cada um dos grupos. Nenhuma diferença significativa foi observada nos valores das variáveis da VFC entre estas condições em ambos os grupos. As possíveis explicações para este resultado podem estar relacionadas aos fatos de: (a) a tarefa motora utilizada ser de fácil entendimento enquanto o tempo de instrução foi relativamente alto, de modo que as crianças de ambos os grupos entenderam rapidamente as principais informações relativas às regras e formas de realização

da tarefa e se desinteressaram pela instrução fornecida, apresentando VFC semelhante à condição em repouso; (b) as mudanças adaptativas da condição em repouso para a condição de instrução são pequenas não requerendo mudanças na modulação e, conseqüentemente, imperceptíveis nas análises da VFC.

É importante ressaltar que durante a realização do presente estudo, nenhuma criança teve dificuldade no entendimento das instruções para realização da tarefa. As crianças iniciaram a tarefa de forma correta e a desempenharam sem problemas, seguindo todas as orientações previamente fornecidas. Tal fato confirma que, de forma semelhante, as crianças de ambos os grupos assimilaram a informação fornecida.

A terceira condição experimental desta fase do estudo consistia na coleta de dados da prática da tarefa. Durante este período de prática, era esperado que as crianças com TDC apresentassem baixa VFC, com modulação parassimpática relativamente baixa. Será apresentado a seguir o referencial teórico que dá suporte aos resultados encontrados no presente estudo.

De maneira geral, as crianças com TDC são comumente estressadas e/ou ansiosas (FRANCIS; PIEK, 2003; PRATT; HILL, 2011; SKINNER; PIEK, 2001), comportamento que provavelmente é expresso por elas na prática de tarefas motoras. Zwicker e colaboradores (2010) verificaram por neuroimagem que, durante a execução de tarefas motoras, as crianças com TDC ativam praticamente o dobro de áreas cerebrais quando comparado com a ativação das crianças com DT. Este comportamento cerebral hiperativo das crianças com TDC também foi verificado por neuroimagem em indivíduos adultos em comportamento aversivo, de estresse e ansiedade, desencadeados por mecanismo

noradrenérgico (HERMANS *et al.*, 2011). Pressupondo que o estresse e ansiedade estão normalmente associados a baixa VFC (MICHELS *et al.*, 2013b; THAYER *et al.*, 2012), então crianças com TDC provavelmente apresentariam baixa VFC durante a prática motora.

Outras evidências indicativas de baixa VFC durante a prática motora em crianças com TDC foram encontradas nos resultados de estudos realizados com o auxílio de técnicas de neuroimagem durante a prática de tarefas motoras nesta população (PARKER, 2012; QUERNE *et al.*, 2008; ZWICKER *et al.*, 2011). As imagens geradas nestes estudos mostram que crianças com TDC apresentam, principalmente, hipoatividade do córtex pré-frontal enquanto crianças com DT apresentam aumento de atividade do córtex pré-frontal quando da prática de tarefa motora com demanda de inibição da resposta (Go/no Go).

Em estudos combinando análises da VFC com técnicas de neuroimagem, Gianaros e colaboradores (2004) e Lane e colaboradores (2009) verificaram que a atividade do córtex pré-frontal medial está diretamente associada com a modulação parassimpática do SNA. Mais especificamente, os autores verificaram que o aumento do componente de AF da VFC (modulação parassimpática) está associado principalmente a ativação do córtex pré-frontal e do córtex cingulado anterior. Considerando: (a) a intrínseca relação entre a modulação autonômica parassimpática e a ativação do córtex pré-frontal e cingulado anterior e (b) os resultados de hipoatividade do córtex pré-frontal de crianças com TDC durante a prática motora apresentados nos estudos supracitados, (c) se deduz que crianças com TDC apresentam baixa modulação parassimpática durante a prática de tarefa motora.

Os resultados das análises lineares da VFC do presente estudo confirmam a expectativa de que crianças com TDC apresentam baixa modulação parassimpática durante a prática da tarefa motora. Mais especificamente, comparadas com as crianças com DT, as crianças com TDC apresentam médias superiores de BFun e de relação BF/AF e médias inferiores de AFabs nesta condição.

Os resultados das comparações intragrupos entre as etapas de instrução e de prática da tarefa mostraram que as crianças com TDC não alteram a modulação autonômica simpática (BFun) de uma condição para a outra, enquanto as crianças com DT a diminuem significativamente. Este resultado ocorre, principalmente, porque somente o grupo TDC diminui os valores absolutos da modulação parassimpática (AFabs) da condição do recebimento de instrução para a condição de prática. Por isso, os valores da relação entre BF e AF (BF/AF) são significativamente maiores no grupo TDC.

Resultados similares foram encontrados nas análises não lineares intragrupos entre a condição de instrução comparada com a condição de prática, nas quais o indicador de modulação simpática ($\emptyset V$) não se alterou diante da mudança de condição para ambos os grupos. Por outro lado, os indicadores de modulação parassimpática (2VD e IEC) não se alteraram nas crianças com TDC e aumentaram da condição de repouso para a prática nas crianças com DT. No presente estudo, durante os seis minutos de prática da tarefa, as crianças com DT obtiveram melhores desempenhos do que as crianças com TDC, maior número de acertos e melhor relação acerto/erro. Estes resultados de desempenho eram esperados tendo em vista as dificuldades motoras das crianças com TDC.

A revisão de literatura do presente estudo apresenta fortes indícios que a modulação parassimpática está diretamente relacionada com a ativação do córtex pré-frontal, tal como sugerem os estudiosos preocupados em entender a intrínseca relação entre a modulação autonômica do coração pela VFC e os processos cognitivos do Sistema Nervoso Central (TER HORST, 1999; THAYER et al., 2009a; THAYER; LANE, 2009; THAYER et al., 2009b). Levando em consideração que: (a) o córtex pré-frontal tem papel fundamental nas funções executivas superiores de memória e aprendizagem, tomada de decisão, flexibilidade cognitiva e/ou adaptabilidade; (b) a inatividade do córtex pré-frontal prolongada é relacionada ao comportamento de defesa, hipervigilância e a respostas sub-corticais automáticas prepotentes determinadas por processos mais deliberativos e conscientes (ARNSTEN; GOLDMAN-RAKIC, 1998; THAYER et al., 2012; THAYER; LANE, 2009); portanto, (c) os resultados do presente estudo, com modulação do SNA de crianças com TDC predominantemente simpática, indicam que o comportamento destas crianças reflete estas adaptações sistêmicas de desativação do córtex pré-frontal e redução da modulação parassimpática durante a prática motora.

Em particular, as crianças com TDC apresentam dificuldades de aprendizagem e adaptabilidade motora respondendo na prática de forma perseverante, prepotente, com baixa complexidade motora (DIZ, 2008; KAGERER et al., 2004; KING et al., 2012; OLIVEIRA, M. A. et al., 2012; OLIVEIRA, M. A. et al., 2006). Segundo Pellegrini (2000), nos primeiros estágios de aprendizagem, deve haver busca: por identificação de características invariantes da tarefa motora, na tentativa de encontrar a melhor resposta; de

melhores estratégias de resposta frente às demandas da tarefa. Tais processos executivos são cruciais para a aprendizagem através da prática e são desempenhados principalmente em regiões específicas do córtex pré-frontal (DOYON; BENALI, 2005; DOYON; UNGERLEIDER, 2002; KOLB; WHISHAW, 2009).

As crianças com TDC podem apresentar adaptações sistêmicas durante a prática que se referem a afastamento e/ou refusa em realizar atividades motoras, baixa participação em jogos e brincadeiras organizadas e/ou livres, pobre autoconceito motor (CAIRNEY et al., 2005b; FAUGHT et al., 2005). Tais comportamentos, presentes nas crianças com TDC, também são característicos de indivíduos que sentem desprazer, desgosto, ansiedade e/ou estresse, indicando baixa modulação parassimpática e baixa ativação do córtex pré-frontal quando da realização de atividades motoras.

A revisão de literatura relativa aos aspectos subjacentes aos processos de aprendizagem, coordenação e controle motor evidencia que as adaptações sistêmicas apresentadas pelas crianças com TDC durante a prática motora não são adequadas. Estas adaptações sistêmicas inadequadas podem estar diretamente relacionadas tanto às dificuldades motoras quanto a outras dificuldades associadas apresentadas pelas crianças com TDC.

No presente estudo, a última condição experimental consistia na coleta de dados para análise da VFC durante a avaliação do desempenho em tarefa motora com demanda de velocidade e precisão. Nesta condição de avaliação, era esperado que a modulação parassimpática das crianças com TDC fosse mais baixa quando comparada à das crianças com DT. As justificativas para tal

expectativa são as mesmas apresentadas relativas a condição de prática. Outro resultado esperado era que, nas análises da VFC, ambos os grupos se adaptassem diminuindo a modulação parassimpática da condição de prática em relação à condição de avaliação, condição esta que implica em maior dificuldade. Este resultado era esperado levando em consideração resultados de estudos como o de Yoshie e colaboradores (2009a) que verificaram que pianistas experientes pioram de forma significativa o desempenho e alteram significativamente a modulação autonômica aumentando o estresse e a ansiedade em situação de avaliação quando comparados a prática em sala quieta.

Os resultados do presente estudo não confirmaram as expectativas levantadas. Nas análises intergrupos, na condição de avaliação da tarefa motora, as crianças com TDC não se diferenciaram das crianças com DT. Nas análises intragrupos, nas diferentes condições, apenas o grupo de crianças com DT apresentou indícios de diminuição da modulação parassimpática da prática para a avaliação. Esta diminuição de modulação parassimpática foi a principal responsável pela semelhança de modulação entre os grupos TDC e DT na condição de avaliação, levando o grupo de crianças com DT às mesmas adaptações sistêmicas neurofisiológicas apresentadas pelas crianças com TDC, tanto na condição de prática como na condição de avaliação. Durante os seis minutos de avaliação da tarefa, as crianças com DT obtiveram melhores desempenhos do que as crianças com TDC, maior número de acertos e melhor relação acerto/erro. Estes resultados de desempenho eram esperados tendo em vista as dificuldades motoras das crianças com TDC.

Mudando o foco da discussão, das crianças com TDC para as crianças com DT, os resultados das adaptações sistêmicas neurofisiológicas das crianças com DT na condição de avaliação têm implicações importantes na área de comportamento motor. Desempenhar habilidades motoras em situação de pressão psicológica, tal como em avaliações motoras, faz parte do cotidiano de todas as pessoas e elas devem ser expostas e treinadas para este tipo de situação. Seguindo as sugestões, apresentadas por Yoshie e colaboradores (2009a), que o aumento do estresse em situação de avaliação pode ser considerado como um estado de prontidão dos indivíduos para o desempenho motor e, no entanto, este estado de estresse pode prejudicar o desempenho motor habilidoso. Portanto, expor crianças exageradamente a desempenhar habilidades motoras em situação de pressão psicológica ou de avaliação é definitivamente inapropriado, principalmente se o objetivo do desempenho motor for a prática para a aprendizagem de habilidades motoras.

7.3 Limitações e considerações do presente estudo

O presente estudo é limitado quanto ao entendimento dos mecanismos desencadeadores de adaptações adequadas ou inadequadas aos processos de aprendizagem e desempenho de tarefas motoras, ocorridas no Sistema Nervoso Central (SNC) e Autônomo (SNA). Levando em consideração que o SNA e o SNC funcionam de forma integrada (THAYER; LANE, 2009), as mudanças ocorridas em um dos sistemas afetam diretamente o funcionamento do outro sistema. No entanto, a Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) é um importante marcador do funcionamento tanto do SNA como do SNC, como sugerido por Thayer e Lane,

em 2009. Uma forma de ampliar o entendimento destas adaptações sistêmicas seria combinar as análises da VFC com outros métodos de estudos neurofisiológicos conhecidos, tais como medidas bioquímicas e técnicas de neuroimagem.

O presente estudo apresenta ainda limitações relacionadas ao método, que devem ser levadas em consideração. No presente estudo, apenas uma sessão de prática da tarefa motora foi realizada para verificação da VFC, o que não permite um completo entendimento do comportamento ao longo de diferentes sessões de prática e em diferentes momentos. Além disso, apesar de interpretarmos a VFC durante o desempenho motor de crianças com TDC de forma generalizada, no presente estudo foi verificada a VFC somente em uma tarefa de colocar dominós em série com demanda de velocidade e precisão. Portanto, novos estudos devem ser realizados para verificação da VFC em outras categorias de tarefas motoras.

Os resultados do presente estudo combinados com o conhecimento fornecido pela revisão de literatura confirmam a hipótese que crianças com TDC apresentam padrões de comportamento de modulação do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) diferentes dos padrões crianças com DT nas etapas da realização de uma tarefa motora e que esta adaptação sistêmica pode prejudicá-las na aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras. Mais especificamente, as crianças com TDC apresentam adaptações do SNA que consistem em baixa modulação parassimpática durante a prática motora e estas adaptações estão relacionadas a adaptações no Sistema Nervoso Central, tal como a hipoatividade do córtex pré-frontal e córtex cingulado anterior, e a comportamentos, tais como resposta motora perseverante, prepotente e/ou

automática, aversão, estresse e ansiedade. Por sua vez, estas adaptações e comportamentos definitivamente não são condizentes com as demandas de aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras.

8 CONCLUSÃO

A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) é um eficiente marcador do funcionamento do Sistema Nervoso Autônomo (SNA). Este sistema está diretamente envolvido com as funções executivas ocorridas no Sistema Nervoso Central, tais como os processos de aprendizagem, coordenação e controle de ações motoras. Os resultados do presente estudo indicam que as limitações do método não impediram a avaliação das adaptações do SNC e do SNA em crianças, inclusive em crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação (TDC).

Tendo em vista os resultados do presente estudo, as crianças com TDC apresentam padrão normal de modulação do SNA em repouso nas posições posturais básicas, pois apresentaram padrões adequados de adaptação sistêmica tanto na posição supino como na posição ortostática quando avaliadas em teste com mudança de postura ativa. Portanto, o TDC não está associado a problemas de modulação do SNA quando em repouso.

Os resultados indicaram ainda que crianças com TDC apresentam modulação do SNA inadequada às demandas de aprendizagem durante a prática de tarefa motora que podem ser detectadas por análise da VFC. As crianças com Desenvolvimento Típico apresentam modulação do SNA semelhante às crianças com TDC em condições de avaliação, com predominância simpática. Estas adaptações são inadequadas às demandas de aprendizagem e desempenho motor. Portanto, os profissionais preocupados com a aprendizagem de seus alunos e/ou clientes devem tomar os devidos cuidados para que a prática não

ocorra constantemente em situações de pressão psicológica, como as de avaliação.

Segundo consta, este é um dos primeiros estudos a explorar a modulação do SNA de crianças com TDC, a partir de diferentes métodos de análise da VFC, em diferentes condições. Considerando que as análises da VFC têm baixo custo relativo, não são invasivas e com facilidades de manuseio do cardiófrequencímetro, estas análises podem ser utilizadas de forma abrangente e em grande escala em ambientes escolares, clínicos, recreativos e acadêmicos na busca de oportunizar as melhores condições de aprendizagem, coordenação e controle às crianças com TDC. No entanto, para evitar equívocos, tais análises da VFC devem ser realizadas seguindo todo um referencial protocolar estabelecido pela comunidade acadêmica.

Tendo em vista os resultados e as limitações do presente trabalho, novos estudos devem ser realizados com o objetivo de avançar no entendimento das adaptações neurofisiológicas das crianças com TDC. A combinação de diferentes técnicas de avaliação neurofisiológicas, tais como os diferentes métodos de análise da VFC e técnicas de neuroimagem aplicadas em diferentes condições comportamentais devem contribuir significativamente para o entendimento das dificuldades apresentadas pelas crianças com TDC, com o objetivo de estabelecimento de novas formas de intervenção para melhora da qualidade de vida desta população.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, U. R. et al. Heart rate variability: a review. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 44, n. 12, p. 1031-1051, Dec 2006.
- ADAMS, J. A. A closed-loop theory of motor learning. **Journal of Motor Behavior**, 1971.
- AKSELROD, S. et al. Power Spectrum Analysis of Heart-Rate Fluctuation - a Quantitative Probe of Beat-to-Beat Cardiovascular Control. **Science**, v. 213, n. 4504, p. 220-222, 1981.
- ALEHAN, D.; CELIKER, A.; ÖZME, Ş. Head-up tilt test: a highly sensitive, specific test for children with unexplained syncope. **Pediatric cardiology**, v. 17, n. 2, p. 86-90, 1996.
- ALETTI, F. et al. Heart rate variability in children with cyanotic and acyanotic congenital heart disease: analysis by spectral and non linear indices. **2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (Embc)**, p. 4189-4192, 2012.
- ALTER, P. et al. Heart rate variability in patients with cardiac hypertrophy - Relation to left ventricular mass and etiology. **American Heart Journal**, v. 151, n. 4, p. 829-836, Apr 2006.
- ALTUNCU, M. E.; BASPINAR, O.; KESKIN, M. The use of short-term analysis of heart rate variability to assess autonomic function in obese children and its relationship with metabolic syndrome. **Cardiology Journal**, v. 19, n. 5, p. 501-506, Sep 2012.
- ALVARES, G. A. et al. Reduced Heart Rate Variability in Social Anxiety Disorder: Associations with Gender and Symptom Severity. **PLoS One**, v. 8, n. 7, Jul 30 2013.
- ARDILA, A.; PINEDA, D.; ROSSELLI, M. Correlation between intelligence test scores and executive function measures. **Archives of Clinical Neuropsychology**, v. 15, n. 1, p. 31-36, 2000.
- ARNSTEN, A. F.; GOLDMAN-RAKIC, P. S. Noise stress impairs prefrontal cortical cognitive function in monkeys: evidence for a hyperdopaminergic mechanism. **Archives of General Psychiatry**, v. 55, n. 4, p. 362, 1998.
- ASSOCIAÇÃO PSIQUIÁTRICA AMERICANA. DSM-IV: Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais: DSM-IV. Porto Alegre, 2002.
- AYYASH, H. F.; PREECE, P. M. Evidence-based treatment of motor co-ordination disorder. **Current Paediatrics**, v. 13, n. 5, p. 360-364, 2003.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neuroscience : exploring the brain**. 3rd. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2007. xxxviii, 857 p. ISBN 0781776074 (alk. paper)

BEDARD, M. E. et al. Reduced Heart Rate Variability in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease Independent of Anticholinergic or beta-agonist Medications. **Copd-Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease**, v. 7, n. 6, p. 391-397, Dec 2010.

BERGER, R. D. et al. An efficient algorithm for spectral analysis of heart rate variability. **Biomedical Engineering, IEEE Transactions on**, n. 9, p. 900-904, 1986.

BHATT, R. R. et al. The Influence of Heart Rate Variability on Decision Making. **Psychophysiology**, v. 50, p. S37-S37, Sep 2013.

BIRCH, S. L.; DUNCAN, M. J.; FRANKLIN, C. Overweight and reduced heart rate variability in British children: An exploratory study. **Preventive Medicine**, v. 55, n. 5, p. 430-432, Nov 2012.

BLOM, E. H. et al. Heart rate variability (HRV) in adolescent females with anxiety disorders and major depressive disorder. **Acta Paediatrica**, v. 99, n. 4, p. 604-611, Apr 2010.

BUNKER, L. K. The Role of Play and Motor Skill Development in Building Childrens Self-Confidence and Self-Esteem. **Elementary School Journal**, v. 91, n. 5, p. 467-471, May 1991.

CAIRNEY, J. et al. Comparison of VO(2) maximum obtained from 20 m shuttle run and cycle ergometer in children with and without developmental coordination disorder. **Research in Developmental Disabilities**, v. 31, n. 6, p. 1332-1339, Nov-Dec 2010a.

CAIRNEY, J. et al. Trajectories of cardiorespiratory fitness in children with and without developmental coordination disorder: a longitudinal analysis. **British Journal of Sports Medicine**, v. 45, n. 15, p. 1196-1201, Dec 2011.

CAIRNEY, J. et al. Developmental coordination disorder and overweight and obesity in children aged 9-14 y. **International Journal of Obesity**, v. 29, n. 4, p. 369-372, Apr 2005a.

CAIRNEY, J. et al. Developmental coordination disorder, generalized self-efficacy toward physical activity, and participation in organized and free play activities. **J Pediatr**, v. 147, n. 4, p. 515-20, Oct 2005b.

CAIRNEY, J. et al. Developmental coordination disorder, sex, and activity deficit over time: a longitudinal analysis of participation trajectories in children with and without coordination difficulties. **Dev Med Child Neurol**, v. 52, n. 3, p. e67-72, Mar 2010b.

CAIRNEY, J. et al. Developmental coordination disorder and aerobic fitness: Is it all in their heads or is measurement still the problem? **American Journal of Human Biology**, v. 18, n. 1, p. 66-70, Jan 2006.

CARMENA, J. M. et al. Stable ensemble performance with single-neuron variability during reaching movements in primates. **Journal of Neuroscience**, v. 25, n. 46, p. 10712-10716, Nov 16 2005.

CASTELLANOS, F. X. et al. Characterizing cognition in ADHD: beyond executive dysfunction. **Trends in cognitive sciences**, v. 10, n. 3, p. 117-123, 2006.

COLES, M. G. H.; PELLEGRINI, A. M.; WILSON, G. V. The Cardiac Cycle Time Effect - Influence of Respiration Phase and Information-Processing Requirements. **Psychophysiology**, v. 19, n. 6, p. 648-657, 1982.

COOPER, K. H. A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake - Correlation between Field and Treadmill Testing. **Journal of the American Medical Association**, v. 203, n. 3, p. 201-&, 1968.

COVERDALE, N. S. et al. Baroreflex Sensitivity is Associated with Sleep-Related Breathing Problems in Adolescents. **Journal of Pediatrics**, v. 160, n. 4, p. 610-+, Apr 2012.

DE KLOET, E. R.; JOËLS, M.; HOLSBOER, F. Stress and the brain: from adaptation to disease. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 6, n. 6, p. 463-475, 2005.

DECONINCK, F. J. A. et al. Differences in gait between children with and without developmental coordination disorder. **MOTOR CONTROL-CHAMPAIGN-**, v. 10, n. 2, p. 125, 2006.

DENCKLA, M. B. Dyslexia Research and Its Applications to Education - Pavlidis, Gt, Miles, Tr. **Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines**, v. 25, n. 1, p. 159-159, 1984.

DIZ, M. A. R. **Efeito da prática no controle de torque isométrico em crianças com transtorno do desenvolvimento da coordenação**. 2008. 80 (Mestrado). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

DONNELLY, J. E. et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention

of weight regain for adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 2, p. 459-71, Feb 2009.

DOYON, J.; BENALI, H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 15, n. 2, p. 161-167, 2005.

DOYON, J.; UNGERLEIDER, L. G. Functional anatomy of motor skill learning. **Neuropsychology of memory**, v. 3, p. 225-238, 2002.

DRAGASEK, J. et al. Heart rate variability in patients with anxiety disorders. **European Neuropsychopharmacology**, v. 16, p. S220-S221, Sep 2006.

DSM-IV. **Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

ELLIOT, A. J. et al. A subtle threat cue, heart rate variability, and cognitive performance. **Psychophysiology**, v. 48, n. 10, p. 1340-1345, Oct 2011.

FAUGHT, B. E. et al. Increased risk for coronary vascular disease in children with developmental coordination disorder. **Journal of Adolescent Health**, v. 37, n. 5, p. 376-380, Nov 2005.

FRANCIS, M.; PIEK, J. P. The effects of perceived social support and self-worth on depressive symptomatology in children with and without Developmental Coordination Disorder (DCD). **Australian Journal of Psychology**, v. 55, p. 180-180, 2003.

GAEBLER, M. et al. Heart rate variability and its neural correlates during emotional face processing in social anxiety disorder. **Biological Psychology**, v. 94, n. 2, p. 319-330, Oct 2013.

GAMA, D. T. **A preparação e a execução de tarefa de alcance ao alvo em crianças com transtorno do desenvolvimento da coordenação**. 2008. 69 (Mestrado). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

GAMELIN, F. et al. Validity of the polar S810 to measure RR intervals in children. **International journal of sports medicine**, v. 29, n. 2, p. 134-138, 2008.

GAMELIN, F. X. et al. Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. **European Journal of Applied Physiology**, v. 105, n. 5, p. 731-738, Mar 2009.

GAMELIN, F. X.; BERTHOIN, S.; BOSQUET, L. Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 38, n. 5, p. 887, 2006.

GAZZANIGA, M. S.; IVRY, R. B.; MANGUN, G. R. **Cognitive neuroscience : the biology of the mind**. 3rd. New York: W.W. Norton, 2009. xx, 666, 12, 22, 8, 23 p. ISBN 9780393927955 (hardcover).

GENTILE, A. M. A working model of skill acquisition with application to teaching. **Quest**, v. 17, n. 1, p. 3-23, 1972.

GEORGOPOULOS, A. P.; CAMINITI, R.; KALASKA, J. F. Static Spatial Effects in Motor Cortex and Area-5 - Quantitative Relations in a Two-Dimensional Space. **Experimental Brain Research**, v. 54, n. 3, p. 446-454, 1984.

GEORGOPOULOS, A. P. et al. On the Relations between the Direction of Two-Dimensional Arm Movements and Cell Discharge in Primate Motor Cortex. **Journal of Neuroscience**, v. 2, n. 11, p. 1527-1537, 1982.

GEORGOPOULOS, A. P.; KETTNER, R. E.; SCHWARTZ, A. B. Primate Motor Cortex and Free Arm Movements to Visual Targets in 3-Dimensional Space .2. Coding of the Direction of Movement by a Neuronal Population. **Journal of Neuroscience**, v. 8, n. 8, p. 2928-2937, Aug 1988.

GEUZE, R. H. Postural control in children with developmental coordination disorder. **Neural plasticity**, v. 12, n. 2-3, p. 183-196, 2005.

GIANAROS, P. J.; VAN DER VEEN, F. M.; JENNINGS, J. R. Regional cerebral blood flow correlates with heart period and high-frequency heart period variability during working-memory tasks: Implications for the cortical and subcortical regulation of cardiac autonomic activity. **Psychophysiology**, v. 41, n. 4, p. 521-530, 2004.

GUTIN, B. et al. Heart rate variability in obese children: Relations to total body and visceral adiposity, and changes with physical training and detraining. **Obesity Research**, v. 8, n. 1, p. 12-19, Jan 2000.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Textbook of medical physiology**. 11th. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2006. xxxv, 1116 p. ISBN 0721602401.

GUZZETTI, S. et al. Symbolic dynamics of heart rate variability a probe to investigate cardiac autonomic modulation. **Circulation**, v. 112, n. 4, p. 465-470, 2005.

HAINAUT, J. P.; BOLMONT, B. Effects of mood states and anxiety as induced by the video-recorded stroop color-word interference test in simple response timetasks on reaction time and movement time. **Perceptual and Motor Skills**, v. 101, n. 3, p. 721-729, Dec 2005.

HENDERSON, L.; ROSE, P.; HENDERSON, S. Reaction-Time and Movement Time in Children with a Developmental Coordination Disorder. **Journal of Child**

Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, v. 33, n. 5, p. 895-905, Jul 1992.

HENDERSON, S. E.; SUGDEN, D. A. **The movement Assessment Battery for Children**. London: The Psychological Corporation, 1992.

HENDERSON, S. E.; SUGDEN, D. A.; BARNETT, A. L. **Movement Assessment Battery for Children**. 2. London: The Psychological Corporation, 2007.

HERMANS, E. J. et al. Stress-related noradrenergic activity prompts large-scale neural network reconfiguration. **Science**, v. 334, n. 6059, p. 1151-1153, 2011.

HON, E. H.; LEE, S. T. Electronic Evaluation of Fetal Heart Rate .8. Patterns Preceding Fetal Death, Further Observations. **American Journal of Obstetrics and Gynecology**, v. 87, n. 6, p. 814-&, 1963.

HUIKURI, H. V.; MÄKIKALLIO, T. H.; PERKIÖMÄKI, J. Measurement of heart rate variability by methods based on nonlinear dynamics. **Journal of electrocardiology**, v. 36, p. 95-99, 2003.

JOËLS, M. et al. The coming out of the brain mineralocorticoid receptor. **Trends in Neurosciences**, v. 31, n. 1, p. 1-7, 2008.

JOHNSTON, L. M. et al. Differences in postural control and movement performance during goal directed reaching in children with developmental coordination disorder. **Human Movement Science**, v. 21, n. 5-6, p. 583-601, Dec 2002.

KAGERER, F. A. et al. Visuomotor adaptation in children with developmental coordination disorder. **Motor Control**, v. 8, n. 4, p. 450-460, Oct 2004.

KETTNER, R. E.; SCHWARTZ, A. B.; GEORGOPOULOS, A. P. Primate Motor Cortex and Free Arm Movements to Visual Targets in 3-Dimensional Space .3. Positional Gradients and Population Coding of Movement Direction from Various Movement Origins. **Journal of Neuroscience**, v. 8, n. 8, p. 2938-2947, Aug 1988.

KHASPEKOVA, N. B. et al. Heart rate variability (HRV) examination in patients with a high level of anxiety. **International Journal of Psychophysiology**, v. 30, n. 1-2, p. 191-191, Sep 1998.

KING, B. R.; CLARK, J. E.; OLIVEIRA, M. A. Developmental delay of finger torque control in children with developmental coordination disorder. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 54, n. 10, p. 932-937, 2012.

KOLB, B.; WHISHAW, I. Q. **An introduction to brain and behavior**. 3rd. New York, NY: Worth Publishers, 2009.

KUGLER, N.; KELSO, J. A. S.; TURVEY, M. T. On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical line. In: (Ed.). **Tutorials in motor behaviour**: North Holland Amsterdam, 1980. p.32-47.

KUGLER, P. N.; KELSO, J. A. S.; TURVEY, M. T. {On control and coordination of naturally developing systems}. In: KELSO, J. A. S. e CLARK, J. E. (Ed.). **The development of movement control and coordination**: New York: Wiley, 1982. p.5-78.

KUNZ, V. C. et al. The relationship between cardiac autonomic function and clinical and angiographic characteristics in patients with coronary artery disease. **Revista Brasileira De Fisioterapia**, v. 15, n. 6, p. 503-510, Nov-Dec 2011.

LABORDE, S. et al. Trait emotional intelligence in sports: A protective role against stress through heart rate variability? **Personality and Individual Differences**, v. 51, n. 1, p. 23-27, Jul 2011.

LANE, R. D. et al. Neural correlates of heart rate variability during emotion. **Neuroimage**, v. 44, n. 1, p. 213-222, 2009.

LATASH, M. L.; SCHOLZ, J. P.; SCHONER, G. Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 30, n. 1, p. 26-31, Jan 2002.

LAZARUS, R. S.; DEESE, J.; OSLER, S. F. THE EFFECTS OF PSYCHOLOGICAL STRESS UPON PERFORMANCE. **Psychological Bulletin**, July, 1952, Vol. 49, No. 4, Part 1, 293-317, v. 49, n. 4, p. 293-317, 1952.

LEGER, L. et al. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. **Journal of Sports Sciences**, v. 6, n. 2, p. 93-101, 1988.

LEGER, L. A.; LAMBERT, J. A Maximal Multistage 20-M Shuttle Run Test to Predict Vo2 Max. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 49, n. 1, p. 1-12, 1982.

LEWIS, D. A. et al. Specificity of head-up tilt testing in adolescents: effect of various degrees of tilt challenge in normal control subjects. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 30, n. 4, p. 1057-1060, 1997.

LI, Y. C. et al. Motor coordination and health-related physical fitness of children with developmental coordination disorder: A three-year follow-up study. **Research in Developmental Disabilities**, v. 32, n. 6, p. 2993-3002, Nov-Dec 2011.

LICHT, C. M. M. et al. Association between Anxiety Disorders and Heart Rate Variability in The Netherlands Study of Depression and Anxiety (NESDA). **Psychosomatic Medicine**, v. 71, n. 5, p. 508-518, Jun 2009.

MAGILL, R. A.; ANDERSON, D. **Motor learning and control: Concepts and applications**. McGraw-Hill New York, 2007.

MÄKIKALLIO, T. H. et al. Clinical applicability of heart rate variability analysis by methods based on nonlinear dynamics. **Cardiac electrophysiology review**, v. 6, n. 3, p. 250-255, 2002.

MALLIANI, A.; MONTANO, N. Emerging excitatory role of cardiovascular sympathetic afferents in pathophysiological conditions. **Hypertension**, v. 39, n. 1, p. 63-68, 2002.

MATEO, M. et al. Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 1, p. 113-123, Jan 2012.

MELICHAR, J. K. et al. Heart rate variability (HRV) and noradrenergic dysfunction in generalised anxiety disorder (GAD): Assessment using a clonidine challenge. **Journal of Psychopharmacology**, v. 17, n. 3, p. A29-A29, Sep 2003.

METZ, G. A. Stress as a modulator of motor system function and pathology. **Reviews in the Neurosciences**, v. 18, n. 3-4, p. 209-222, 2007.

MICHELS, N. et al. Determinants and reference values of short-term heart rate variability in children. **European Journal of Applied Physiology**, v. 113, n. 6, p. 1477-1488, Jun 2013a.

MICHELS, N. et al. Children's heart rate variability as stress indicator: Association with reported stress and cortisol. **Biological Psychology**, v. 94, n. 2, p. 433-440, Oct 2013b.

MIYAMOTO, N. T. **Latência e acurácia de respostas motoras a estímulos visuais em situações de estresse**. . 2010. (Tese de Doutorado). Tese de Doutorado, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Biomédicas, São Paulo.

NAVARRO, M. et al. The effects of high pressure on the point of no return in simulated penalty kicks. **Journal of Sport & Exercise Psychology**, v. 34, n. 1, p. 83-101, 2012.

NAVILLE, S. Psychomotor Approaches and Possibilities in Physical Education and Sports. In: R., S. e K.K., R. (Ed.). **New Approaches to Sport and Exercise Psychology**. Oxford: Meyer & Meyer Sport, 2005.

NEWELL, K. M. Coordination, Control and Skill. In: DAVID GOODMAN, R. B. W. e IAN, M. F. (Ed.). **Advances in Psychology**: North-Holland, v. Volume 27, 1985. p.295-317. ISBN 0166-4115.

NEWELL, K. M. Constraints on the development of coordination. In: WADE, M. e WHITING, H. T. A. (Ed.). **Motor development in children: aspects of coordination and control**. Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff, 1986. p.341-360.

NICOLELIS, M. A. L.; LEBEDEV, M. A. OPINION Principles of neural ensemble physiology underlying the operation of brain-machine interfaces. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 10, n. 7, p. 530-540, Jul 2009.

NOVAIS, L. et al. Avaliação da variabilidade da frequência cardíaca em repouso de homens saudáveis sedentários e de hipertensos e coronariopatas em treinamento físico. **Revista Brasileira De Fisioterapia**, v. 8, n. 3, p. 207-13, 2004.

NUGENT, A. C. et al. Heart rate variability during motor and cognitive tasks in females with major depressive disorder. **Psychiatry Research-Neuroimaging**, v. 191, n. 1, p. 1-8, Jan 30 2011.

NUNAN, D. et al. Validity and reliability of short-term heart-rate variability from the Polar S810. **Medicine+ Science in Sports+ Exercise**, v. 41, n. 1, p. 243, 2009.

OITZL, M. S. et al. Brain development under stress: Hypotheses of glucocorticoid actions revisited. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 34, n. 6, p. 853-866, 2010.

OLIVEIRA, M. A.; CLARK, J. E.; KING, B. R. Development delay of finger torque control in children with DCD. **Journal of Sport & Exercise Psychology**, v. 34, p. S175-S176, Jun 2012.

OLIVEIRA, M. A.; LOSS, J. F.; PETERSEN, R. D. S. Controle de força e torque isométrico em crianças com DCD. **Rev. bras. Educ. Fís. Esp.**, v. 19, n. 2, p. 89-103, abr./jun. 2005.

OLIVEIRA, M. A. et al. Effect of kinetic redundancy on hand digit control in children with DCD. **Neuroscience Letters**, v. 410, n. 1, p. 42-46, Dec 13 2006.

OLIVEIRA, N. L. et al. Heart rate variability in myocardial infarction patients: Effects of exercise training. **Revista Portuguesa De Cardiologia**, v. 32, n. 9, p. 687-700, Sep 2013.

PAGANI, M. et al. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. **Circulation research**, v. 59, n. 2, p. 178-193, 1986.

PARK, G. et al. From the heart to the mind's eye: Cardiac vagal tone is related to visual perception of fearful faces at high spatial frequency. **Biological Psychology**, v. 90, n. 2, p. 171-178, May 2012.

PARKER, J. K. **Prefrontal oxygenation during executive tasks in children with developmental coordination disorders**. 2012. 49 (Master of Science). Neuroscience and Neurobiology, Iowa State University, Ames, Iowa.

PASCHOAL, M. A.; TREVIZAN, P. F.; SCODELER, N. F. Heart Rate Variability, Blood Lipids and Physical Capacity of Obese and Non-Obese Children. **Arquivos Brasileiros De Cardiologia**, v. 93, n. 3, p. 239-246, Sep 2009.

PASINI, A. et al. Attention and executive functions profile in drug naive ADHD subtypes. **Brain and Development**, v. 29, n. 7, p. 400-408, 2007.

PELLEGRINI, A. M. A aprendizagem de habilidades motoras I: o que muda com a prática. **Revista Paulista de Educação Física**, v. 3, p. 29-34, 2000.

PICCIRILLO, G. et al. Abnormal passive head-up tilt test in subjects with symptoms of anxiety power spectral analysis study of heart rate and blood pressure. **International Journal of Cardiology**, v. 60, n. 2, p. 121-131, 1997.

PIEK, J. P. et al. Motor Coordination and Social-Emotional Behaviour in Preschool-aged Children. **International Journal of Disability Development and Education**, v. 55, n. 2, p. 143-151, 2008.

POCKETT, S., Ed. **The neuroscience of movement**. Does consciousness cause behavior? Cambridge Mass: MIT Press, Does consciousness cause behavior?ed. 2006.

PORGES, S. W. et al. Does motor activity during psychophysiological paradigms confound the quantification and interpretation of heart rate and heart rate variability measures in young children? **Developmental Psychobiology**, v. 49, n. 5, p. 485-494, Jul 2007.

PORTA, A. et al. Measuring regularity by means of a corrected conditional entropy in sympathetic outflow. **Biological Cybernetics**, v. 78, n. 1, p. 71-78, 1998.

PORTA, A. et al. An integrated approach based on uniform quantization for the evaluation of complexity of short-term heart period variability: application to 24 h Holter recordings in healthy and heart failure humans. **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, v. 17, n. 1, p. 015117-015117-11, 2007a.

PORTA, A. et al. Entropy, entropy rate, and pattern classification as tools to typify complexity in short heart period variability series. **Ieee Transactions on Biomedical Engineering**, v. 48, n. 11, p. 1282-1291, Nov 2001.

PORTA, A. et al. Assessment of cardiac autonomic modulation during graded head-up tilt by symbolic analysis of heart rate variability. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 293, n. 1, p. H702-H708, 2007b.

POWELL, K. E. et al. Physical activity and the incidence of coronary heart disease. **Annu Rev Public Health**, v. 8, p. 253-87, 1987.

PRATT, M. L.; HILL, E. L. Anxiety profiles in children with and without developmental coordination disorder. **Research in Developmental Disabilities**, v. 32, n. 4, p. 1253-1259, Jul-Aug 2011.

QUERNE, L. et al. Dysfunction of the attentional brain network in children with developmental coordination disorder: a fMRI study. **Brain research**, v. 1244, p. 89-102, 2008.

RAJENDRA ACHARYA, U. et al. Study of heart rate variability signals at sitting and lying postures. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 9, n. 2, p. 134-141, 2005.

REUL et al. **Two receptor systems for corticosterone in rat brain: microdistribution and differential occupation.** Chevy Chase, MD, ETATS-UNIS: Endocrine Society, 1985.

RIGANELLO, F.; GARBARINO, S.; SANNITA, W. G. Heart Rate Variability, Homeostasis, and Brain Function A Tutorial and Review of Application. **Journal of Psychophysiology**, v. 26, n. 4, p. 178-203, 2012.

RUIZ-PADIAL, E. et al. Fear and Disgust: Startle Modulation as a Function of Heart Rate Variability. **Psychophysiology**, v. 50, p. S38-S38, Sep 2013.

RUSSONIELLO, C. V. et al. Effects of a physical activity program on heart rate variability in obese children. **Applied Psychophysiology and Biofeedback**, v. 27, n. 4, p. 310-310, Dec 2002.

SAPOLSKY, R. M.; KREY, L. C.; MCEWEN, B. S. The Neuroendocrinology of Stress and Aging - the Glucocorticoid Cascade Hypothesis. **Endocrine Reviews**, v. 7, n. 3, p. 284-301, Aug 1986.

SCHMIDT, R. A. **Motor Learning and Performance: A Situation-based Learning Approach; [includes Access to Online Study Guide; 20 Experimental Labs]**. Human Kinetics, 2008. ISBN 073606964X.

SCHOEMAKER, M. M. et al. Perceptual skills of children with developmental coordination disorder. **Human Movement Science**, v. 20, n. 1-2, p. 111-133, Mar 2001.

SCHWARTZ, A. B.; KETTNER, R. E.; GEORGOPOULOS, A. P. Primate Motor Cortex and Free Arm Movements to Visual Targets in 3-Dimensional Space .1. Relations between Single Cell Discharge and Direction of Movement. **Journal of Neuroscience**, v. 8, n. 8, p. 2913-2927, Aug 1988.

SIEBERT, J. et al. Stroke volume variability and heart rate power spectrum in relation to posture changes in healthy subjects. **Medical Science Monitor**, v. 10, n. 2, p. Mt31-Mt37, Feb 2004.

SKINNER, R. A.; PIEK, J. P. Psychosocial implications of poor motor coordination in children and adolescents. **Human Movement Science**, v. 20, n. 1-2, p. 73-94, Mar 2001.

SMITS-ENGELSMAN, B. C. M. et al. Fine motor deficiencies in children with developmental coordination disorder and learning disabilities: An underlying open-loop control deficit. **Human Movement Science**, v. 22, n. 4-5, p. 495-513, Nov 2003.

SUGDEN, D.; KIRBY, A.; DUNFORD, C. Movement Difficulties in Children: Developmental Coordination Disorder. **International Journal of Disability Development and Education**, v. 55, n. 2, p. 93-96, 2008.

TAKAHASHI, A. C. M. et al. The effect of eccentric strength training on heart rate and on its variability during isometric exercise in healthy older men. **European Journal of Applied Physiology**, v. 105, n. 2, p. 315-323, Jan 2009.

TANAKA, H. Predicting Running Velocity at Blood Lactate Threshold from Running Performance Tests in Adolescent Boys. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 55, n. 4, p. 344-348, 1986.

TASK FORCE. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. **Circulation**, v. 93, n. 5, p. 1043-1065, 1996.

TER HORST, G. J. Central autonomic control of the heart, angina, and pathogenic mechanisms of post-myocardial infarction depression. **European Journal of Morphology**, v. 37, n. 4-5, p. 257, 1999.

THAYER, J. F. et al. A Meta-Analysis of Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: Importance of the Amygdala and the Medial Prefrontal Cortex. **Psychophysiology**, v. 47, p. S7-S7, 2010.

_____. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 36, n. 2, p. 747-756, Feb 2012.

THAYER, J. F. et al. Heart Rate Variability, Prefrontal Neural Function, and Cognitive Performance: The Neurovisceral Integration Perspective on Self-regulation, Adaptation, and Health. **Annals of Behavioral Medicine**, v. 37, n. 2, p. 141-153, Apr 2009a.

THAYER, J. F.; LANE, R. D. Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 33, n. 2, p. 81-88, Feb 2009.

THAYER, J. F. et al. Age-related differences in prefrontal control of heart rate in humans: A pharmacological blockade study. **International Journal of Psychophysiology**, v. 72, n. 1, p. 81-88, Apr 2009b.

VAN GALEN, G. P.; VAN HUYGEVOORT, M. Error, stress and the role of neuromotor noise in space oriented behaviour. **Biological Psychology**, v. 51, n. 2-3, p. 151-171, 2000.

VANGEMMERT, A. W. A.; VANGALEN, G. P. Stress, neuromotor noise, and human performance: A theoretical perspective. **Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance**, v. 23, n. 5, p. 1299-1313, Oct 1997.

VANMECHELEN, W.; HLOBIL, H.; KEMPER, H. C. G. Validation of 2 Running Tests as Estimates of Maximal Aerobic Power in Children. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 55, n. 5, p. 503-506, 1986.

WANN, J. P.; MON-WILLIAMS, M.; RUSHTON, K. Postural control and coordination disorders: The swinging room revisited. **Human Movement Science**, v. 17, n. 4-5, p. 491-513, Aug 1998.

WHITALL, J. et al. Perception-action coupling in children with and without DCD: frequency locking between task-relevant auditory signals and motor responses in a dual-motor task. **Child: care, health and development**, v. 32, n. 6, p. 679-692, 2006.

WILLIAMS, D. P.; SPELLER, L. F.; THAYER, J. F. This and That: Heart Rate Variability and Working Memory during Dual Task Performance. **Psychophysiology**, v. 50, p. S37-S37, Sep 2013.

WU, S. K. et al. Pulmonary function in children with development coordination disorder. **Research in Developmental Disabilities**, v. 32, n. 3, p. 1232-1239, May-Jun 2011.

WU, S. K. et al. Cardiopulmonary fitness and endurance in children with developmental coordination disorder. **Research in Developmental Disabilities**, v. 31, n. 2, p. 345-349, Mar-Apr 2010.

YOSHIE, M. et al. Music performance anxiety in skilled pianists: effects of social-evaluative performance situation on subjective, autonomic, and electromyographic reactions. **Exp Brain Res**, v. 199, n. 2, p. 117-26, Nov 2009a.

YOSHIE, M.; KUDO, K.; OHTSUKI, T. Motor/autonomic stress responses in a competitive piano performance. **Ann N Y Acad Sci**, v. 1169, p. 368-71, Jul 2009b.

YVONNE, M. U.-L.; JAMES, P. H. **Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses**: Nature Publishing Group 2009.

ZAMUNER, A. R. et al. The influence of motor impairment on autonomic heart rate modulation among children with cerebral palsy. **Res Dev Disabil**, v. 32, n. 1, p. 217-21, Jan-Feb 2011.

ZWICKER, J. G. et al. Brain activation of children with developmental coordination disorder is different than peers. **Pediatrics**, v. 126, n. 3, p. e678-e686, 2010.

_____. Brain activation associated with motor skill practice in children with developmental coordination disorder: an fMRI study. **International Journal of Developmental Neuroscience**, v. 29, n. 2, p. 145-152, 2011.

_____. Developmental coordination disorder: a review and update. **European Journal of Paediatric Neurology**, v. 16, n. 6, p. 573-581, 2012.

