FELIPE AUGUSTO DOS SANTOS MENDES

**Aprendizado motor após treinamento baseado em realidade virtual na
Doença de Parkinson: efeitos das demandas motoras e cognitivas dos jogos
(versão original)**

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Neurociências e Comportamento

Área de Concentração: Neurociências e Comportamento
Orientadora: Profa. Dra. Maria Elisa Pimentel Piemonte

São Paulo

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação

Biblioteca Dante Moreira Leite

Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo

Mendes, Felipe Augusto dos Santos.

Aprendizado motor após treinamento baseado em realidade virtual na doença de Parkinson: efeitos das demandas motoras e cognitivas dos jogos / Felipe Augusto dos Santos Mendes; orientadora Maria Elisa Pimentel Piemonte. -- São Paulo, 2012.

125 f.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Psicologia. Área de Concentração: Neurociências e Comportamento) – Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo.

1. Aprendizagem motora 2. Doença de Parkinson 3. Jogos de computador I. Título.

BF295

Nome: Mendes, Felipe Augusto dos Santos

Título: Aprendizado motor após treinamento baseado em realidade virtual na doença de Parkinson: efeitos das demandas motoras e cognitivas dos jogos.

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Neurociências e Comportamento

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

DEDICATÓRIA

À Deus e à espiritualidade amiga, por sempre me mostrar que é preciso CONFIAR na providência divina, mesmo nos momentos em que nossa vontade é de desistir de usar a porta estreita.

À minha amada esposa Patrícia, toda a minha gratidão por sempre me proporcionar a estrutura logística e psicológica para que esse trabalho pudesse ser construído e concluído.

À minha pequena Beatriz, todo meu amor, por ser o estímulo principal para todo esse esforço.

À toda a minha família, principalmente meus pais, Benedicto e Marlene e minha irmã Aline, por serem sempre o alicerce do meu interesse pelos estudos.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Maria Elisa Pimentel Piemonte minha gratidão pela orientação deste trabalho e por toda a paciência, ensinamentos e incentivo que foram imprescindíveis para que ele fosse realizado e seus frutos pudessem ser colhidos.

Aos colegas do Laboratório de Aprendizagem Sensório-Motora do curso de Fisioterapia da USP, José Eduardo Pompeu, Alexandra Lobo, Keyte Guedes, Andrea Zomignani, Tatiana de Paula, Cynthia Bedeschi, Sandra Pompeu e Erika Okamoto, por auxiliarem em diferentes etapas deste trabalho e por compartilharem todas as dificuldades e realizações desses momentos, comigo.

Aos meus alunos de graduação que participaram da coleta de dados do estudo.

Aos pacientes da Associação Pró Parkinson de Jundiaí, pela sua participação neste estudo.

Ao Centro Universitário Padre Anchieta de Jundiaí, pela cessão de suas dependências para coleta de dados do estudo.

RESUMO

Mendes, FAdS. Aprendizado motor após treinamento baseado em realidade virtual na doença de Parkinson: efeitos das demandas motoras e cognitivas dos jogos. [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Psicologia; 2012. 125 f.

O objetivo principal deste estudo foi investigar a aprendizagem de pacientes com Doença de Parkinson (DP) em 10 jogos do vídeo game Nintendo Wii Fit Plus®, com diferentes demandas motoras e cognitivas, por meio das modificações do desempenho após o treinamento, comparando-a com a aprendizagem de indivíduos saudáveis da mesma faixa etária, em um estudo clínico, longitudinal e controlado. Dezesseis pacientes em estágio inicial da DP e 11 idosos saudáveis participaram de um treinamento que compreendeu 14 sessões de exercícios de aquecimento que precederam o treino no Nintendo Wii Fit Plus®, realizadas 2 vezes por semana. Nessas sessões, duas tentativas em 5 de 10 jogos foram realizadas, sendo que nas sessões pares foram treinados 5 jogos diferentes das sessões ímpares. Uma sessão de treino e avaliação adicional foi feita sessenta dias após o final do treinamento em cada jogo, totalizando 2 sessões adicionais para treino e avaliação da retenção. Ao final do estudo foram realizadas no total 16 sessões de treino. Aprendizado foi a principal medida de resultado sendo baseada nas pontuações obtidas durante todas as sessões, nos 10 jogos. Encontrou-se que os pacientes com DP não mostraram deficiências de aprendizado em 7 dos 10 jogos, embora tenham mostrado desempenho inferior em 5 jogos, quando comparados aos idosos. Os pacientes mostraram importantes deficiências de aprendizado em 3 outros jogos, independentemente do desempenho inicial inferior. Esta deficiência pareceu estar associada às demandas cognitivas desses jogos, que requerem tomadas de decisão rápidas, inibição de resposta, atenção dividida e memória operacional. Concluiu-se que a capacidade de pacientes com DP em melhorar e reter o desempenho após o treinamento no Nintendo Wii Fit Plus® depende grandemente das demandas dos jogos envolvidos, sobretudo as demandas cognitivas, reiterando a importância da seleção adequada dos jogos com proposta de reabilitação.

Palavras chave: aprendizado motor; Doença de Parkinson; realidade virtual.

ABSTRACT

Mendes, FAdS. Motor learning after virtual reality-based training in Parkinson's disease: effect of motor and cognitive demands of games. [thesis]. São Paulo: São Paulo University, Psychology Institute; 2012. 125 s.

The main objective of this study was to investigate the learning of Parkinson's Disease (PD) patients in 10 games of the video game Nintendo Wii Fit Plus® with different motor and cognitive demands, through changes in performance after training, comparing it with healthy elderly, in a clinical, longitudinal and controlled study. Sixteen patients in early stages of PD and 11 healthy elderly subjects participated in a training program which comprised 14 warm exercises sessions that preceded the Nintendo Wii Fit Plus® training, twice a week. In these sessions, two attempts in 5 of 10 games were held, being that on even sessions were trained 5 different games of odd sessions. A training session and further evaluation was made sixty days after the end of training in each game, totaling two additional sessions to assess retention. At the end of the study were performed, in total, 16 training sessions. Learning was the main outcome measure being based on the scores obtained during all sessions, in 10 games. It was found that PD patients showed no learning impairments in 7 of 10 games, although they have shown a lower performance in 5 games, compared to the elderly. The patients showed significant deficiencies in learning in 3 other games, regardless of the initial performance lower. This deficiency appeared to be related to the cognitive demands of those games that require quick decision making, response inhibition, divided attention and working memory. It was concluded that the ability of PD patients to improve and retain the performance after training on the Nintendo Wii Fit Plus® depends greatly on the demands of the games involved, especially the cognitive demands, reiterating the importance of proper selection of games with proposed rehabilitation.

Keywords: motor learning; Parkinson's Disease; virtual reality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Circuito de comunicação córtico-baso-tálamo-cortical.....	22
Figura 2 -	Console e controles manuais do sistema Wii®.....	49
Figura 3 -	Wii Balance Board®.....	50
Figura 4 -	Capa do pacote Wii Fit Plus® e exemplos de telas de jogos.....	51
Figura 5 -	Fluxograma dos procedimentos do estudo.....	59
Figura 6 -	Imagem de uma sessão de treinamento no Nintendo Wii Fit Plus®.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Torso Twists no Grupo experimental e no Grupo Controle.....	70
Gráfico 2 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Single Leg Extension no Grupo Experimental e no Grupo Controle.....	71
Gráfico 3 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Rhythm Parade, no Grupo Experimental e no Grupo Controle.....	72
Gráfico 4 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Table Tilt no Grupo Experimental e no Grupo Controle.....	72
Gráfico 5 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Tilt City no Grupo Experimental e no Grupo Controle.....	73
Gráfico 6 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Basic Step no Grupo Experimental e no Grupo Controle.....	73
Gráfico 7 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Penguin Slide no Grupo Experimental e no Grupo Controle.....	74
Gráfico 8 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Obstacle Course no Grupo Experimental e no Grupo Controle.....	75
Gráfico 9 -	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Soccer Heading no Grupo Experimental e no Grupo Controle.....	76
Gráfico 10	Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Basic Run Plus no Grupo Experimental e no Grupo controle.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Artigos selecionados pela pesquisa.....	35
Tabela 2 -	Jogos do Nintendo Wii Fit Plus® e suas descrições.....	63
Tabela 3 -	Distribuição dos jogos, por sessão de treinamento, e as demandas motoras e cognitivas de cada jogo.....	66
Tabela 4 -	Características dos participantes antes do início do treinamento.....	68
Tabela 5 -	Efeitos inter grupo e inter sessões (comparados à S1) nas sessões 1 a 7 e na retenção, em todos os jogos, em ambos os grupos.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	-	Três dimensões
BRP	-	Jogo Basic Run Plus
BS	-	Jogo Basic Step
DP	-	Doença de Parkinson
EUA	-	Estados Unidos da América
GC	-	Grupo controle
GDS-15	-	Geriatric Depression Scale 15 itens
GE	-	Grupo experimental
GPI	-	globo pálido interno
Hz	-	Hertz
MEEM	-	Mini Exame do Estado Mental
MPTP	-	1-metil-4-fenil-1, 2, 3,6-tetrahidropiridina
NST	-	Núcleo subtalâmico
OC	-	Jogo Obstacle Course
PD	-	Parkinson's Disease
PS	-	Jogo Penguin Slide
REM	-	Rapid Eyes Movements
RP	-	Jogo Rhythm Parade

S1.... S7	-	Sessões 1.....7
SH	-	Jogo Soccer Heading
SLE	-	Jogo Single Leg Extension
SNR	-	Substância negra reticulada
TC	-	Jogo Tilt City
TT	-	Jogo Table Tilt
TTW	-	Jogo Torso Twists

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Apresentação do estudo	15
1.2	Revisão da literatura	18
1.2.1	A Doença de Parkinson.....	18
1.2.1.1	Aspectos históricos	18
1.2.2	A aprendizagem motora.....	29
1.2.3	Aprendizagem motora na DP	32
1.2.4	A Realidade Virtual.....	46
2	OBJETIVO	54
2.1	Objetivos específicos.....	54
2.2	Hipótese.....	54
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	55
3.1	Tipo de Estudo.....	55
3.2	Casuística.....	55
3.2.1	Critérios de Inclusão	56
3.2.2	Critérios de exclusão.....	56
3.2.3	Termo de Consentimento.....	57
3.3	Local.....	57
3.4	Materiais	57
3.4.1	Exercícios de mobilidade.....	57
3.4.2	Treinamento no Nintendo Wii Fit Plus®.....	58
3.5	Procedimentos	58
3.5.1	Triagem.....	58
3.5.2	Treinamento	59
3.6	Análise dos Dados	67

4	RESULTADOS	68
4.1	Características dos participantes.....	68
4.2	Aprendizagem nos jogos	68
4.2.1	Jogos nos quais os pacientes com DP apresentaram desempenho e aprendizagem sem deficiências	70
4.2.2	Jogos nos quais os pacientes com DP apresentaram capacidade de aprendizagem sem deficiências, mas prejuízos no desempenho	71
4.2.3	Jogos nos quais os pacientes com DP apresentaram deficiências no desempenho e na capacidade de aprender	75
5	DISCUSSÃO.....	78
5.1	Implicações clínicas.....	89
6	CONCLUSÕES	91
	REFERENCIAS	92
	ANEXOS	114
	ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO	114
	ANEXO B - CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO PARA APRECIÇÃO ÉTICA.....	116
	ANEXO C – SEQUÊNCIAS DE EXERCÍCIOS DE AQUECIMENTO	117

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do estudo

Aprendizagem motora pode ser definida, segundo Schmidt e Wrisberg (2001), como um grupo de processos associados à prática e à experiência que levam a mudanças relativamente permanentes na capacidade de produzir uma ação hábil. Consiste, segundo Magill (2000), em modificações da capacidade de um indivíduo desempenhar uma habilidade¹ motora, podendo ser inferida por melhora no desempenho² dessa habilidade.

A reabilitação motora que pode ser considerada um processo de re-aprendizagem sobre como se mover para responder satisfatoriamente às necessidades da vida cotidiana (Krakauer, 2006), baseia-se nessas modificações decorrentes da prática ou treino tanto para a aquisição de novas habilidades, como para o aperfeiçoamento das já adquiridas (Guadagnoli, 2004; Rostami, 2009). Essas melhoras no desempenho das habilidades, novas ou aperfeiçoadas, podem ser retidas por longos períodos de tempo. Isso sugere que a prática pode produzir mudanças de longa duração nas representações neurais críticas para o desempenho da tarefa. Essas mudanças representariam novos traços de memórias consolidados pela prática (Karni, 1996).

¹ Habilidade: qualquer tarefa, simples ou complexa que, por intermédio da exercitação, pode passar a ser efetuada com elevado grau de qualidade, podendo chegar à automatização.

² Desempenho: tentativa observável de um indivíduo de produzir uma ação voluntária que pode ser influenciada por diversos fatores temporários (Magill, 2000; Schmidt & Wrisberg, 2001).

Embora sua exata função para o processo de aprendizagem motora não seja completamente conhecida, não há dúvidas de que os núcleos da base são fundamentais para a formação e consolidação de novas memórias motoras (Shmuelof e Krakauer, 2011). Assim, pacientes com a Doença de Parkinson que é decorrente da depleção de dopamina nos circuitos internos dos núcleos da base, além dos sintomas motores e cognitivos, apresentam alterações na aprendizagem motora (Doyon et al, 2009). Tais alterações podem limitar os benefícios terapêuticos do treinamento motor como ferramenta para minimizar as deficiências funcionais consequentes a doença.

Embora numerosos, os estudos que se dedicaram a investigar as deficiências de aprendizagem motora na DP mostraram resultados inconsistentes, o que impede uma conclusão sobre o assunto. A inconsistência nos resultados possivelmente é decorrente da grande variedade metodológica dos estudos no que se refere, por exemplo, aos perfis clínicos e medicamentosos dos pacientes estudados e aos tipos, número e nível de complexidade motora e cognitiva das tarefas treinadas (Pendt, 2011).

A realidade virtual, tecnologia que propicia um ambiente multissensorial com o qual o usuário pode interagir de forma natural e realista (Riva 2002), tem sido proposta como uma nova ferramenta terapêutica que oferece condições favoráveis para o treinamento sensório-motor de pacientes neurológicos (Adamovich et al, 2009), provendo-os com elementos importantes para o aprendizado motor como a repetição, a retroalimentação e a motivação (Holden, 2005).

Uma alternativa mais econômica e disponível são os sistemas de realidade virtual que utilizam vídeo games. Dentre esses equipamentos o vídeo game Nintendo Wii® e seu pacote de jogos Wii Fit Plus® têm se mostrado uma alternativa viável (Saposnik et al, 2010; Gil-Gomez et al, 2011), pois permitem o treinamento e a quantificação da melhora do desempenho em tarefas motoras complexas, oferecendo um repertório amplo de jogos, com diferentes demandas motoras e cognitivas (Williams et al, 2010; Yamada et al, 2011; Meldrum et al, 2012). A maioria dos jogos desse pacote utiliza como interface o controle Wii *Balance Board*® que é uma plataforma contendo sensores de pressão para detecção, em tempo real, do deslocamento do centro de massa do usuário (Shih et al, 2010 b) podendo ser usado, inclusive, como ferramenta para sua avaliação (Clark et al, 2010, 2011; Young et al, 2011).

Assim, a utilização desse tipo de vídeo-game na investigação da aprendizagem de pacientes com DP em tarefas complexas envolvendo marcha e equilíbrio, pode permitir que essa aprendizagem seja estudada. Isso pode possibilitar uma melhor replicabilidade dos resultados encontrados para a reabilitação, já que estudos anteriores utilizaram apenas tarefas manuais (Stephan et al, 2011; Bedard e Sanes, 2011; Arias et al, 2012) que embora importantes, refletem apenas uma pequena parte da funcionalidade dos pacientes. Além disso, a utilização de vários jogos pode permitir a investigação dos efeitos de diferentes combinações de demandas motoras e cognitivas sobre a aprendizagem, o que pode contribuir para a melhor compreensão das suas deficiências na DP, além de fornecer subsídios para a seleção de exercícios com finalidade terapêutica.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo principal investigar a aprendizagem de pacientes com DP treinados em 10 jogos do vídeo game Nintendo Wii Fit Plus®, com diferentes combinações de demandas motoras e cognitivas, comparando-a com a aprendizagem de indivíduos saudáveis da mesma faixa etária.

Nossa principal hipótese foi de que, conforme as demandas motoras e cognitivas dos jogos, pacientes com DP seriam capazes de aprender, com ou sem deficiências, quando comparados a idosos saudáveis.

1.2 Revisão da literatura

1.2.1 A Doença de Parkinson

1.2.1.1 Aspectos históricos

A Doença de Parkinson (DP) foi descrita em 1817 pelo médico inglês James Parkinson, por meio da publicação da monografia denominada “*An Essay on Shaking Palsy*”. As 66 páginas desse ensaio descreviam as principais características, diagnóstico, etiologia e tratamento da doença baseadas em seis casos do sexo masculino, com idades variando entre 50 e 72 anos. A enfermidade denominada por Parkinson como “paralisia agitante” foi caracterizada pela presença de movimentos tremulantes involuntários, diminuição de força muscular, tendência à inclinação do tronco para frente e alteração da marcha, sendo que os sentidos e o intelecto estavam preservados (Andrade et al, 2010).

Meio século depois, Charcot nomeou o distúrbio como DP para homenagear o médico inglês, mas também porque não concordava com os termos usados por ele já que o quadro de paralisia não estava presente e a movimentação era mais comprometida pela lentidão em sua execução do que por uma fraqueza. Ele descreveu, também, o tremor de repouso como não agravado pela atividade e não necessário para o diagnóstico da doença, descrevendo um paciente com rigidez e sem tremor (Burch e Sheerin, 2005; Weiner, 2008).

O estudo de Blocq e Marinesco, em 1893, descreveu um paciente com parkinsonismo unilateral resultante de um tuberculoma contralateral na região do “*locus niger*”, o que trouxe importantes evidências para a futura localização da lesão típica da DP, na substância negra.

No século seguinte, valiosas descobertas sobre a patofisiologia da DP foram feitas. Tretiakoff, em 1921, apontou um reduzido número de células pigmentadas na substância negra e inclusões no citoplasma dessas células que já haviam sido descritas por Lewy em 1913. Um estudo mais completo da neuropatologia do mesencéfalo, por Foix e Nicolesco em 1925, trouxe um reforço para o substrato anatômico da doença (Pearce, 1989).

Bem mais tarde, nos anos 1960, Ehringer e Hornykiewicz descreveram a redução da dopamina no estriado de pacientes com DP, abrindo uma nova perspectiva para o seu tratamento por meio da reposição desse neurotransmissor (Rodriguez-Oroz, 2009; Andrade et al, 2010).

1.2.1.2 Epidemiologia

A DP é a segunda doença neurodegenerativa mais comum depois da Doença de Alzheimer, afetando mais de 1% da população idosa (Jin et al, 2011; Spencer et al, 2011) e o segundo mais frequente distúrbio do movimento depois do tremor essencial (Barbosa et al, 2006). A taxa de prevalência estimada nos Estados Unidos é de 329, com uma incidência anual de 16 a 19, ambas para cada 100.000 pessoas, afetando indivíduos acima dos 50 anos e aumentando com a idade (Pahva e Lyons, 2010). Essas taxas parecem também ser, em âmbito mundial, mais altas em homens do que em mulheres (Wirdefeldt et al, 2011).

No Brasil, a taxa de prevalência da DP idiopática é de 3,3% (Barbosa et al, 2006) e com o aumento da expectativa de vida e a redução das taxas de natalidade em nosso país nas últimas décadas, uma consequência natural desse processo é o aumento da prevalência de doenças crônico-degenerativas, como a DP, durante o envelhecimento (Caramelli et al, 2011).

1.2.1.3 Etiologia

A etiologia da DP é complexa e envolve, provavelmente, fatores genéticos e ambientais. Genes possivelmente causadores da DP vêm sendo identificados e, juntamente com estudos de agregação familiar, têm dado respaldo a um componente genético. Apesar de haver poucos estudos consistentes sobre as influências de fatores ambientais sobre a etiologia, há evidência sobre um papel protetor do fumo e do café e da associação de altas concentrações de ácido úrico com baixo risco de DP, embora os mecanismos biológicos ainda sejam pouco compreendidos. Evidências de que pesticidas, metais e outros agentes químicos possam aumentar o risco da doença ainda são frágeis (Wirdefeldt et al, 2011).

Outros mecanismos etiológicos têm sido atribuídos à exposição a neurotoxinas ambientais como o 1-metil-4-fenil-1, 2, 3, 6-tetraidropiridina (MPTP), traumas, neurotoxinas endógenas, estresse oxidativo e apoptose (Janetta et al, 2011).

A degeneração dos neurônios dopaminérgicos na substância negra compacta do mesencéfalo e na área tegmental ventral e o resultante déficit na sustentação dopaminérgica para o estriado, parecem ser responsáveis pelas características motoras observadas em pacientes com DP (Wakeman et al, 2011).

Apesar das causas da degeneração não serem definitivamente estabelecidas, algumas importantes hipóteses tem sido investigadas:

1. Inflamações no Sistema Nervoso aumentariam o risco de desenvolver a DP uma vez que modelos experimentais da doença mostraram que fatores inflamatórios influenciados por mediadores como o superóxido e óxido nítrico podem contribuir para a morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra, sobretudo para aqueles que contêm neuromelanina. A neuromelanina, exposta ao meio extracelular, posteriormente à morte neuronal, poderia agravar esse quadro por ativar a microglia que, por sua vez, poderia exacerbar a neurodegeneração dopaminérgica (Zhang et al, 2011).

2. Anormalidades na função mitocondrial e no metabolismo protéico, além de danos causados por uma aumentada liberação de radicais livres, produziriam estresse oxidativo podendo induzir às perdas de neurônios dopaminérgicos (Schapira e Gegg, 2011).

3. Aumento da concentração de ferro nigral em pacientes com DP, o que explicaria a seletiva neurodegeneração dopaminérgica, já que o ferro se acumulado, pode ser nocivo aos neurônios uma vez que produz alterações nas proporções das transformações férricas, levando à geração de radicais hidroxilas, que são tóxicos a eles (Jin et al, 2011).

1.2.1.4 Diagnóstico

Os critérios diagnósticos básicos para DP são a presença de duas ou mais das suas características cardinais (tremor de repouso, bradicinesia, instabilidade postural e rigidez), além de uma melhora dos sintomas com a levodopa. Contudo, os critérios da *United Kingdom Parkinson's Disease Society* são mais específicos e aceitos como padrão ouro para o diagnóstico da DP e envolvem um processo com três passos: 1. Identificação de sinais de parkinsonismo; 2. Identificação de sinais e sintomas para excluir a DP; e 3. Identificação de critérios que suportem os diagnósticos de DP. A *American Academy of Neurology*, por sua vez, indica que quedas precoces, pobre resposta à levodopa, simetria de sintomas, rápida progressão da doença, ausência de tremor e disfunção autonômica são sugestivas de outros diagnósticos que não a DP (Lyons e Pahva, 2011).

Devido à falta de marcadores ou substratos específicos de neuroimagem, o diagnóstico deve ser baseado em critérios clínicos com sintomas parkinsonianos predominantes e ausência

de sinais de outras desordens neurológicas e história de causas ligadas a drogas, toxinas ou infecções (Wirdefeldt et al, 2011).

1.2.1.5 Fisiopatologia

Embora a causa da doença seja ainda pouco compreendida e comprovada, as modificações nos circuitos núcleos da base - tálamo – corticais que dela decorrem são consideradas precursoras dos sintomas típicos da DP (Rodrigues-Oroz et al, 2009).

Se forem tomados como parâmetros os estados normais, ou seja, quando a substância negra compacta encontra-se intacta, observar-se-á que circuitos neuronais distintos regulam a atividade dos núcleos da base, equilibrando-a e tendo como resultado uma interação tálamo-cortical bem controlada. São eles: (i) um circuito direto entre o estriado e o globo pálido interno (GPi) e a substância negra reticulada (SNr) e (ii) um circuito indireto, que tem a mesma origem, mas que passa pelo globo pálido externo, núcleo subtalâmico e, só depois, pelo GPi e SNr. A degeneração dos neurônios produtores de dopamina da substância negra compacta afeta tanto o circuito direto quanto o indireto, levando a uma hiperatividade do GPi e da SNr o que provoca uma diminuição da excitação nas interações tálamo-corticais, causando os principais sintomas da doença (Timmermann e Fink, 2011).

A figura 1 detalha as relações entre os elementos do circuito interno dos núcleos da base, o tálamo e o córtex cerebral e a comparação entre os quadros de normalidade e a DP.

Figura 1 - Circuito de comunicação córtico-baso-tálamo-cortical. a) normal; b) DP.

Setas vermelhas: projeções excitatórias; setas azuis: projeções inibitórias. A espessura das setas indica o grau de ativação de cada projeção. O estriado projeta para o globo pálido interno (GPi) e para a substância negra reticulada (SNr) em uma via direta e para o globo pálido externo (GPe) e núcleo subtalâmico (STN), para depois projetar para GPi e SNr, em uma via indireta. A dopamina inibe a via indireta e excita a via direta. Na DP, a falta de dopamina, da substância negra compacta para o estriado, desinibe a via indireta e inibe a via direta levando à aumentada excitação do GPi e da SNr. Como consequência, há o aumento da inibição das suas conexões com o tálamo (VL) e a diminuição da excitação das áreas motoras corticais, causando os sintomas (modificado de Obeso et al, 2000).

Os principais sintomas da doença parecem estar relacionados, portanto, com a depleção de dopamina no estriado, sobretudo na região caudal do putâmen e rostro-dorsal do caudado, que projetam, após conexões internas com outros núcleos da base e com o tálamo, para regiões dorso-laterais do lobo frontal por sua vez reguladoras não apenas da motricidade mas também de processos cognitivos como as funções executivas (Rodrigues-Oroz et al, 2009; Leh et al, 2010).

1.2.1.6 Características clínicas

Os sintomas típicos da DP são descritos por Rodriguez-Oroz et al, (2009), King e Horak (2009), Haulsdorff (2009) e Zhang et al (2011) como:

1. Acinesia: definida como “falta de movimentos”, compreende características clínicas como a bradicinesia, que por sua vez, é caracterizada como lentidão na iniciação e execução dos movimentos voluntários, mas também associada a lentos e fracos ajustes posturais; e a hipocinesia, que se refere à diminuição na frequência e na amplitude dos movimentos voluntários;
2. Instabilidade postural: decorrente da perda dos reflexos posturais e definida como deficiência do equilíbrio devido à redução dos ajustes posturais, tanto compensatórios como antecipatórios;
3. Rigidez: caracterizada por aumento do estado de contração dos músculos, com resistência aumentada à movimentação passiva durante todo o arco de movimento e que não varia com a velocidade, tanto em músculos agonistas quanto nos antagonistas, sendo mais comum nos músculos axiais e proximais dos membros;
4. Tremor de repouso: atividade fásica muscular de 4 a 6 Hz, com predomínio nas regiões distais dos membros e/ou na mandíbula, que se exacerba durante a realização da marcha, stress emocional e esforço mental, diminui com o movimento voluntário do segmento e desaparece com o sono.

O processo assimétrico da denervação dopaminérgica nigro-estriatal contribui para uma apresentação assimétrica desses sintomas motores, além de sua presença poder ser útil para aumentar a precisão do diagnóstico (Lewek et al, 2010).

Atualmente sabe-se que a DP está associada a diversos sintomas além dos motores, entre eles os cognitivos, os emocionais e os vegetativos que podem evoluir de forma independente. Uma revisão sistemática recente da literatura, que objetivou gerar um modelo explanatório para as deficiências motoras, cognitivas e na aquisição do aprendizado implícito na DP, mostrou que as deficiências cognitivas parecem surgir já nos estágios iniciais da doença, evoluir rapidamente e estabilizar seu avanço enquanto os distúrbios motores e da aquisição do aprendizado implícito iniciam mais lentamente, aumentando sua progressão conforme a doença avança (Pavão et al, 2012).

As deficiências cognitivas parecem ser causadas pela depleção dopaminérgica que leva a um comprometimento dos circuitos frontoestriatais. A DP pode afetar cada domínio cognitivo incluindo memória, linguagem, atenção, habilidades visuoespaciais e visuoconstrutivas e as funções executivas, sendo as últimas as mais profundamente comprometidas (Kudlicka et al, 2011).

Funções executivas são definidas, segundo Leh et al (2010), como mecanismos cognitivos usados para gerar e programar sequências de respostas e formular e conduzir novos planos de ação cujo desempenho otimizado não seria possível com a ativação comportamental rotineira, como nas situações que requerem operação simultânea de diferentes processos.

Esses mecanismos cognitivos estão envolvidos no controle superior do comportamento como: pensamento abstrato, observação a regras, seleção de informações sensoriais relevantes, manutenção ou deslocamento atencional entre duas tarefas, habilidade de iniciar, executar, inibir e monitorar sequências de ações, função visuo-espacial (Rodriguez-Oroz et al, 2009), manipulação da informação, reconhecimento de erros e utilização adequada da memória operacional (Rochester et al, 2007), auto regulação e monitorização de tarefas, flexibilização cognitiva, organização têmporo-espacial e motivação (Campos-Souza et al, 2010).

Em relação a todas essas habilidades, há consistente evidência de deficiências na DP em testes de: flexibilidade cognitiva, de tarefas de mudança de grupo, atenção seletiva (Kudlicka et al, 2011), planejamento, solução de problemas, deslocamento atencional, divisão de recursos atencionais entre tarefas concorrentes, principalmente quando é exigido controle interno da atenção (Rodriguez-Oroz et al, 2009), dupla tarefa motora *versus* cognitiva (Yogev, 2005; Wu e Hallett, 2008), tomada de decisão (Perfetti et al, 2010; Albani et al, 2011), inibição de resposta (Wylie et al, 2010) e memória operacional (Harrington et al, 2011).

Os sintomas motores e cognitivos podem se sobrepor, agravando-se mutuamente. As deficiências executivas, por exemplo, podem ser mais importantes para o comprometimento do controle dos movimentos voluntários na DP do que se considerava. Essas deficiências podem reduzir a ativação das áreas motoras cerebrais antes da iniciação de uma resposta motora, o que interferiria no seu desempenho subsequente, podendo ser uma das razões das deficiências motoras voluntárias típicas da doença (Cameron et al, 2012)

Outros sintomas como distúrbios do humor, do sono, a hiposmia e a disautonomia são comuns na DP, desde o início da doença ou mesmo antecedendo-o. Destes, os mais estudados

e conhecidos são a hiposmia, os distúrbios do sono REM, a depressão e a constipação (Andrade et al, 2010): A hiposmia parece ser causada pela presença de corpúsculos de Lewy no bulbo olfatório, sugerindo que o processo degenerativo da DP inicia-se também nessa estrutura, havendo perda da olfação em 70 a 90% dos casos. O tempo entre o desenvolvimento da hiposmia e o início dos sintomas motores é desconhecido (Klockgether, 2004); O distúrbio do sono REM é caracterizado pela perda da atonia muscular normal durante essa fase do sono, associado a sonhos vívidos e alucinações visuais com movimentos ligados ao conteúdo dos sonhos e comportamento agressivo. Ocorre em até metade dos pacientes com DP (Barber e Dashtipour, 2012); Depressão é outro sintoma comum, ocorrendo em mais de 25% dos casos de DP, podendo preceder os sintomas motores em até 20 anos. Nesse período a descrição dos pacientes inclui introversão, inflexibilidade de comportamento, menor tendência à liderança, atitude autoprotetora com intenso autocontrole e dificuldade em expressar agressividade. A disfunção dos sistemas monoaminérgicos, sobretudo o serotoninérgico, parece ser um importante pré requisito para a depressão na DP (Klockgether, 2004); A constipação é uma forma de desautonomia que pode refletir envolvimento periférico, com corpúsculos de Lewy e redução neuronal dopaminérgica no plexo mioentérico e no cólon, levando à diminuição do peristaltismo, e central com disfunção do assoalho pélvico. Esse sintoma pode anteceder os sintomas motores em até 24 anos (Andrade et al, 2010).

1.2.1.7 Tratamento

Atualmente, o tratamento da DP pode combinar três modalidades: medicamentoso, cirúrgico e reabilitação. Abaixo são descritas, brevemente, suas formas mais comuns.

O tratamento medicamentoso atual para a DP é baseado em drogas que potencializam de alguma forma a neurotransmissão de dopamina no sistema nervoso, aumentando sua concentração cerebral e/ou inibindo sua recaptação na fenda sináptica, minimizando os sintomas da doença. Os exemplos mais comuns são a levodopa, os agonistas dopaminérgicos, os inibidores da monoamina oxidase B e anticolinérgicos nas fases iniciais e os inibidores da catecol-o-metiltransferase, apomorfina e amantadina, nas fases mais tardias. Destas, a droga considerada padrão ouro, mais efetiva, barata e de escolha inicial, é a que combina carbidopa/levodopa. A levodopa se converte em dopamina tanto na periferia quanto após

atravessar a barreira hemato-encefálica e a carbidopa evita a sua conversão periférica, impedindo perdas e efeitos colaterais periféricos (Jancovic e Stacy, 2007). Apesar de seu uso ser comum a levodopa traz efeitos perturbadores como flutuações motoras e discinesias depois de 4 a 6 anos de tratamento ou quando este é iniciado muito precocemente e/ou já em altas dosagens. Parece ter um efeito também negativo sobre alguns aspectos da cognição, como aprendizado associativo condicional ou reverso (Rodriguez-Oroz et al, 2009). Os outros medicamentos usualmente prescritos têm como função geral potencializar os efeitos da levodopa e minimizar as complicações relacionadas ao seu uso (Fernandez, 2012).

O principal tratamento cirúrgico atual da DP teve incio em 1994, quando foi reportado sucesso no controle dos sintomas cardinais da DP com a estimulação profunda cerebral realizada sobre o núcleo subtalâmico (NST) e parte ventro-lateral do globo pálido interno (GPi) de pacientes. Desde então esse tipo de procedimento cirúrgico estereotáxico vem sendo utilizado com sucesso, em alguns casos, sendo que a estimulação bilateral do NST parece ser mais eficaz que a do GPi para aliviar os sintomas motores, principalmente as discinesias, embora suas eficácias sejam comparáveis. Os efeitos deste tipo eletivo de cirurgia ainda não são totalmente compreendidos mas, provavelmente, estão relacionados com uma modulação da atividade neuronal por meio de geradores de alta frequência que emitem trens de pulsos transitórios que interagem com o padrão de disparo anormal dos neurônios patológicos. Esse procedimento vem se tornando parte do tratamento padrão da DP nas fases mais avançadas. As indicações para seu uso são tremores severos e refratários à terapia e complicações de longo prazo relacionadas ao uso da levodopa (Voges et al, 2007; Lyons, 2011).

A reabilitação tem sido uma nova aliada para o tratamento da DP, à medida que os tratamentos medicamentoso e neurocirúrgico não impedem a progressão dos sintomas e a consequente perda da independência dos pacientes. Assim, particularmente a fisioterapia tem se agregado ao tratamento da DP uma vez que os exercícios podem ser uma estratégia efetiva para retardar ou reverter o declínio funcional desses pacientes (Goodwin et al, 2008).

Revisões sistemáticas mostraram vários estudos que investigaram os efeitos da fisioterapia na melhora da marcha e do equilíbrio de pacientes com DP (Boelen, 2007; Kwakkel et al, 2007; Keus et al, 2009). Seus resultados apontaram para efeitos tarefa- e contexto-específicos, indicando a necessidade de se criar programas que treinem tarefas funcionalmente significativas e de forma contínua, pelo caráter crônico da doença. Dessas

evidências, algumas sustentam os exercícios como sendo benéficos também para a melhora da função física e da qualidade de vida.

Estudos têm mostrado forte evidência de que a reabilitação pode promover melhora da marcha em pacientes com DP. A maioria deles tem utilizado, como recurso, pistas externas visuais e/ou auditivas que podem facilitar a iniciação e continuação dos movimentos sequenciais repetitivos da marcha, por ativar vias corticais e parieto pré motoras que se tornam vias alternativas aos circuitos dos núcleos da base comprometidos (Rochester, 2007; Arias, 2008), reduzindo temporariamente o congelamento (Morris, 2008) e a variabilidade da marcha em condição de dupla tarefa (Baker, 2008). Podem promover, ainda, melhora duradoura na velocidade da marcha, comprimento do passo e estabilidade (Sidaway, 2006).

Dos dois tipos de pistas externas, as visuais parecem trazer maiores benefícios do que as auditivas, na melhora da iniciação da marcha (Nieuwboer, 2008). Porém, o uso de música, como pista auditiva, mostrou que pode melhorar a velocidade, tempo de passada e cadência da marcha (de Bruin, 2010). O fenômeno da “cinesia paradoxal” que, segundo Lewek et al (2010) refere-se à capacidade repentina que os pacientes com DP apresentam de melhorar seu desempenho na marcha, se forem colocados frente a pistas externas tridimensionais, como obstáculos, parece ter também ter efeito positivo na melhora da marcha, quando esta é comparada com a realização da mesma tarefa sem uso dessas pistas.

A reabilitação também pode fazer uso das pistas externas visuais para melhorar o equilíbrio de pacientes com DP (Keus et al, 2007). Entretanto, estudos que utilizaram exercícios ativos não específicos, de rotação de tronco, de membros inferiores, para amplitude de movimento, fortalecimento muscular e treinamento de equilíbrio baseado na estimulação das reações posturais, também obtiveram resultados positivos (Kwakkel, 2007), assim como os que utilizaram treino com deslocamentos do centro de massa auto realizados, deslocamentos externos inesperados e exercícios de coordenação entre membros superiores e inferiores (Smania et al, 2010). Exercícios de Tai chi, que são baseados em posturas com manutenção prolongada da estabilidade, se mostraram também eficientes para melhorar o equilíbrio de pacientes com DP, levando a maiores benefícios do que exercícios de fortalecimento e alongamento isolados, aumentando inclusive a capacidade funcional e diminuindo o risco de quedas nos pacientes (Li et al, 2012).

A reabilitação também parece trazer benefícios à qualidade de vida e à funcionalidade dos pacientes com DP, embora existam menos evidências. Os benefícios parecem ser proporcionais ao tempo total destinado ao programa de exercícios, mantidos a longo prazo e mais intensos nos domínios de comunicação e mobilidade (Tickle-Degnen et al, 2010).

Programas de exercícios globais incluindo flexibilidade, equilíbrio e tarefa-específicos levaram à melhora de aspectos funcionais como redução na pontuação na Unified Parkinson Disease Rating Scale (UPDRS) (Schenkman et al, 2012), maior mobilidade e melhor equilíbrio funcional (Tomlinson et al, 2012), após o término dos programas, em pacientes com DP.

1.2.2 A aprendizagem motora

Segundo Schmidt e Wrisberg (2001), a aprendizagem motora é definida como um conjunto de processos associados com a prática e repetição de ações relativamente invariantes, que levam a mudanças permanentes na capacidade dos indivíduos se movimentarem. Esses processos envolvem a formação e consolidação de novas memórias, por meio de modificações nos padrões de ativação de redes neurais, decorrentes de alterações sinápticas, num primeiro momento transitórias que, pela repetição, se tornam permanentes (Karni, 1996).

Este tipo de aprendizagem, que se consolida lentamente pela repetição e cuja principal evidência é uma modificação no desempenho da tarefa, é classificada como de procedimentos ou implícita, segundo a classificação atualmente mais aceita de sistemas de aprendizagem e memória (Song, 2009). Distingue-se da aprendizagem declarativa ou explícita não só pela velocidade de aquisição, como também pela possibilidade ou não de acesso consciente ao seu conteúdo: enquanto a memória declarativa permite a recordação consciente de eventos e fatos, a memória de procedimentos é inferida por meio do efeito que a prática tem sobre o comportamento (Halsband e Freund, 1993, Halsband e Lange, 2006; Vandenbossche et al, 2009).

Dada a complexidade da aprendizagem motora, atualmente acredita-se que processos explícitos também estejam envolvidos no direcionamento das ações a fim de atingir um objetivo e no desenvolvimento de uma apropriada relação entre o aprendiz e a tarefa. Esses processos explícitos estariam complementando os implícitos, que estão relacionados com a aquisição de padrões apropriados de geração de força que possibilitam a produção de um movimento eficiente (Hodges e Franks, 2002).

Assim, a formação de uma nova memória motora envolve processos explícitos e implícitos de codificação, consolidação e recuperação. A codificação é predominante durante a fase de aquisição e envolve processos cognitivos para identificação do estímulo, seleção e execução de resposta. Nesta fase o aprendiz processa informações sobre a tarefa e faz associações entre objetivos, movimentos e seus resultados. Os resultados do movimento são avaliados pelo aprendiz por meio de retroalimentação e esta informação pode ser usada para modular respostas futuras; A consolidação é formada por um grupo de processos tempo-dependentes pós-aquisição, que tornam a memória motora mais estável e fortalecida. Pode se

manifestar, comportamentalmente, como melhora estável do desempenho após intervalos sem prática; A recuperação engloba processos que estão envolvidos no acesso à informação armazenada definitivamente na memória motora e na sua utilização e depende diretamente da eficiência da fase de codificação. Desta forma, o desempenho pode ser tomado como uma evidência de aprendizagem apenas quando for modificado de forma estável e duradoura, sendo considerado o intervalo mínimo de 24 horas sem treinamento, o necessário para se evidenciar a representação de uma nova memória estável e consolidada para a tarefa (Kantak e Winstein, 2012).

Classicamente, são adotados como principais indicadores de melhora de desempenho em uma tarefa: (1) o aumento da acurácia, (2) a redução do tempo gasto para sua execução e (3) e a redução da energia nela dispendida (Henry et al, 1960; Henry, 1961). A repetição da tarefa possibilita a diminuição do número de erros, ou seja, o processo de aprendizagem desenvolve estratégias cada vez mais precisas para responder àquele estímulo. A diminuição do tempo gasto com a tarefa é evidência de que a repetição permite que a tarefa seja realizada cada vez mais rapidamente, pois, uma vez encontrado o padrão mais eficiente de resposta algumas etapas do processo são minimizadas, acelerando a emissão da resposta. A diminuição da energia utilizada é resultado tanto da eliminação de movimentos não necessários àquela tarefa, quanto da redução do dispêndio atencional, muito alto nas fases iniciais de execução da tarefa. Esta última característica parece ser definitiva na determinação da consolidação do processo. Inicialmente, o processo de elaboração de uma resposta frente a um novo estímulo mobiliza o foco de atenção do indivíduo, necessário para auxiliar a retroalimentação de cada uma das etapas, impossibilitando que o mesmo desloque ou divida a atenção com outra tarefa. Após um tempo de prática considerável, as associações entre estímulos e respostas se tornam cada vez mais estáveis, permitindo a redução da atenção dispendida para a tarefa. Nesse estágio tem-se a “automatização do movimento” que define um estado onde a resposta motora frente a um determinado estímulo já está padronizada e fixada, necessitando de pouca atenção na sua execução, permitindo que o indivíduo divida o seu foco atencional com outra atividade (Fitts e Posner, 1967; Adams, 1971).

1.2.2.1 Substratos neurais da aprendizagem motora: funções do núcleos da base

Aparentemente, as duas formas de aprendizagem, explícita e implícita, parecem ser processadas em áreas encefálicas diferentes. A aprendizagem motora explícita parece estar relacionada com áreas mediais do lobo frontal enquanto a implícita, apesar da maior incerteza, parece estar ligada ao estriado, ao cerebelo e às áreas corticais motoras suplementares e pré motoras (Abbruzzese et al, 2009).

Amplas evidências indicam a participação dos núcleos da base no processo de aprendizagem motora embora suas funções específicas permaneçam, ainda, pouco claras (Shmuelof e Krakauer, 2011).

O estriado parece estar envolvido em diferentes fases do processo de aprendizado sendo que as regiões estriatais anteriores estariam relacionadas com a fase de aquisição enquanto as regiões posteriores seriam críticas para o armazenamento das habilidades adquiridas (Doyon, 2008). Mais recentemente, novas evidências apontam para uma maior participação do estriado nas fases de aquisição de novas habilidades motoras do que nas fases de retenção e recuperação de habilidades aprendidas (Turner e Desmurget, 2010). Outras evidências sugerem que o estriado possa ser especializado no aprendizado por reforço, baseado nos sinais de recompensa codificados pelos neurônios dopaminérgicos da substância negra. Esses neurônios teriam sua atividade aumentada não apenas durante a apresentação da recompensa em si, mas, posteriormente ao treinamento, também durante a predição da recompensa futura (Doya, 2000). O influxo dopaminérgico sobre o estriado permitiria que o último aprendesse padrões de resposta que, em qualquer contexto, selecionariam o movimento que levaria à recompensa. O estriado é tido, assim, como essencial ao aprendizado por decidir (com base em experiências prévias) quais movimentos são mais promissores para levar aos melhores resultados (Rothwell, 2011).

Núcleos da base como a substância negra e o núcleo subtalâmico também parecem estar relacionados à aprendizagem motora, embora pouco seja conhecido a respeito de suas contribuições (Lehéricy et al, 2005).

Assim, condições que afetem o funcionamento dos núcleos da base, como a DP, podem trazer deficiências para a aprendizagem motora.

1.2.3 Aprendizagem motora na DP

Vários fatores que podem interferir na capacidade de aprendizagem da DP têm sido levantados. A redução dos níveis de dopamina decorrentes da DP parece comprometer alguns dos processos envolvidos no aprendizado motor e interferir na magnitude do aprendizado ao final do treinamento, sobretudo de ações motoras complexas nas quais as exigências de planejamento (Hanna-Pladdy e Heilman, 2010) e/ou de gerenciamento de diferentes demandas são maiores (Michel et al, 2009).

Medicações para reposição da dopamina podem compensar a sua perda em certas áreas estriatais já comprometidas em pacientes em fases iniciais da DP, melhorando assim os sintomas motores. As mesmas medicações podem causar, contudo, uma “overdose” de dopamina em áreas ainda não atingidas o que pode levar a comprometimentos do aprendizado (Kwak et al, 2010). Este efeito desequilibrado da dopamina também pode diminuir o desempenho desses pacientes em algumas tarefas envolvendo aprendizado baseado em retroalimentação (Bodi et al, 2009), já que vias dopaminérgicas que se projetam ao estriado estão relacionadas à previsão de recompensa. O estudo de Seo et al (2010) mostrou que as deficiências de aprendizagem em pacientes com DP estão relacionadas, principalmente, à utilização da retroalimentação positiva para a melhora do desempenho comprometendo o aprendizado por reforço. O estudo de Rutledge et al (2009) confirmou essa hipótese mostrando que drogas dopaminérgicas modularam seletivamente o aprendizado por retroalimentação positiva.

Uma hiperatividade dos circuitos cerebelo-corticais e uma bilateralização da ativação de áreas pré-fronto-parietais e do hipocampo, poderiam tentar compensar a deficiência dopaminérgica dos circuitos estriato-corticais. Tais compensações, contudo, não impedem completamente a ocorrência de deficiências específicas de aprendizado motor em pacientes com DP, dificultando o aprendizado ou o reaprendizado de habilidades motoras e a sua retenção (Carbon et al, 2010).

As reduções na capacidade de armazenamento do módulo de memória operacional, associada talvez, a um comprometimento em excluir informações irrelevantes também podem contribuir para as deficiências de aprendizado na DP. Um estudo com pacientes com DP mostrou que os mesmos foram incapazes de filtrar distratores irrelevantes à tarefa e,

consequentemente, mostraram capacidade reduzida de manter, na memória, itens importantes da tarefa, em comparação aos controles saudáveis (Lee et al, 2010).

A seleção de resposta motora que é um dos estágios importantes para o processamento da informação, intermediário à identificação do estímulo e à programação da resposta, também pode estar associada às deficiências de aprendizagem na DP (Rostami & Ashayeri, 2009).

As deficiências de geração de sinais internos que direcionem as sequências de movimentos necessários para concluir uma ação também parecem contribuir para as dificuldades de aprendizado de pacientes com DP. O estudo de Verschueren et al (1996) sugeriu que os pacientes podem melhorar seu desempenho em uma nova tarefa motora, mas permanecem fortemente dependentes de pistas visuais externas para guiar esses recém adquiridos movimentos. A aparente adoção de um modo de controle de circuito fechado é acompanhada de diminuição na velocidade do movimento a fim de usar a retroalimentação das pistas para garantir maior precisão. Quando a fonte de retroalimentação é retirada e o padrão de movimento passa a ser controlado por sinais gerados internamente, o desempenho é severamente comprometido. Observa-se nos pacientes, portanto, maior dificuldade na execução dos movimentos sequenciais guiados por sinais internos do que na dos externamente disparados (Curra et al, 1997). A própria bradicinesia tem sido explicada por um modelo de disfunção dos núcleos da base que propõe que o movimento torna-se lento devido ao comprometimento na geração das pistas internas para guiá-lo (Ma et al, 2009).

Outro importante fator que tem sido relacionado à deficiência de aprendizagem na DP é a dificuldade no controle automático da ação. Esta dificuldade interfere na habilidade de executar mais de uma tarefa ao mesmo tempo, limitando a capacidade de realização de dupla e/ou multi-tarefas, comuns na vida cotidiana (Rochester et al, 2010). Deficiências cognitivas como a limitação de recursos atentos e a dificuldade em direcioná-los eficazmente (Zhou et al, 2012; Cameron et al, 2012), associadas a deficiências motoras, como o acessar e executar programas motores já adquiridos de forma automática e com pouco controle atento (Yogev et al, 2008), têm sido propostos para explicar as limitações de pacientes com DP na execução simultânea de mais de uma tarefa. O estudo de Wu e Hallet (2007) mostrou que após um treinamento extensivo, pacientes com DP foram capazes de desenvolver o controle automático em uma tarefa de sequências curtas de movimentos de dedos, evidenciado pela capacidade de preservar o desempenho quando uma outra tarefa era associada. Os pacientes mantiveram, entretanto, uma ativação mais ampla das áreas corticais relacionadas, em

comparação a idosos saudáveis. Isto sugere, que o controle automático na DP, mesmo quando alcançado por meio do treino extensivo, depende de redes neurais distintas.

Assim, considerando a complexidade dos fatores que podem interferir na aprendizagem motora de pacientes com DP e as suas interações, vários estudos investigaram a questão e, embora numerosos, os seus resultados variaram consideravelmente. Enquanto alguns estudos mostraram aprendizagem normal (Labutta et al, 1994; Agostino et al, 1996; Behrman et al, 2000; Pendt et al, 2011), outros mostraram comprometimento desde os estágios iniciais (Muslimovic et al, 2007) ou apenas nos estágios moderados da doença (Price e Shin, 2009). Enquanto alguns mostraram comprometimento restrito às fases mais tardias do processo de aprendizagem (Nutt et al, 2000; Fattaposta et al, 2000; Cohen e Pourcher, 2007; Bedard e Sanes, 2011), outros demonstram comprometimento nas fases mais iniciais (Kwak et al, 2010) ou em ambas (Doyon et al, 1998).

Os diferentes resultados dos estudos sobre o assunto provavelmente estão associados aos: diferentes tipos de tarefas, tempos de treinamento e condições de treino, influências da medicação e de outros fatores, muitas vezes não controlados, como as próprias deficiências cognitivas, citadas linhas acima.

Com o objetivo de verificar as possíveis inconsistências sobre a ocorrência de deficiências de aprendizagem motora na DP, foi realizada uma pesquisa no banco de dados *PubMed* na qual foram utilizados como descritores os termos *motor learning* e *Parkinson's Disease*. A pesquisa foi restrita aos artigos publicados nos últimos 10 anos, realizados exclusivamente com humanos e na língua inglesa. Foram encontrados, no total, 408 artigos dos quais foram selecionados somente aqueles que tivessem em seu *design*: 1. Grupo controle formado por idosos saudáveis; 2. Treino de tarefas que exigissem movimentos de partes ou de todo o corpo, como resposta a estímulos visuais e/ou sonoros, em ambientes real ou virtual; 3. Treino de tarefas que exigissem velocidade na movimentação e/ou movimentos sequenciais e/ou movimentos para perseguição de alvos visuais. Restaram, após essa seleção, 25 artigos que são descritos brevemente na tabela 1.

Tabela 1 - Artigos selecionados pela pesquisa

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	Resultados	Conclusões
Agostino et al, 2004	9 pacientes com DP medicados, em estágio inicial a moderado; 7 idosos saudáveis.	Movimentos sequenciais de braço, exigidos de forma rápida e precisa.	Duração dos movimentos, duração das pausas e precisão dos movimentos.	Pacientes melhoraram em todas as medidas com a prática de curto-prazo (após 1 dia), não modificaram a precisão após 1 semana e não tiveram melhora adicional após 2 semanas de treino, enquanto os controles tiveram.	Pacientes com DP foram aptos a aprender em tarefa de movimentação sequencial de braço, mas atingiram teto de melhora antes dos controles.
Akamatsu et al, 2008	30 pacientes com DP medicados, em estágio inicial; 20 Idosos saudáveis.	Versão computadorizada do jogo “pedra, papel e tesoura”, sob influência de pistas visuais, auditivas, pistas misturadas e distratores.	Tempo de resposta e numero de erros na tarefa.	Os pacientes tiveram tempos de reação mais lentos e com maior numero de erros do que os controles principalmente sob influência estímulos distratores visuais.	Pacientes com DP são comprometidos em tarefas de tempo de reação com escolha.
Arias et al, 2012	10 pacientes com DP em estagio inicial e período <i>off</i> ; 12 jovens e 12 idosos saudáveis.	Treinamento em 2 dias separados por 1 semana em tarefa de toques rítmicos com dedo indicador, em ambiente real e virtual.	Frequência de toques e coeficiente de variação inter toques.	Pacientes foram mais lentos e tiveram maior variabilidade na realização das tarefas do que ambos os grupos controles.	Pacientes com DP mostraram comprometimento em tarefa de movimentação rítmica de dedos em ambiente virtual.

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	Resultados	Conclusões
Bedard e Sanes, 2011	12 pacientes com DP em estágio inicial; 12 idosos saudáveis.	Manipulação de um controle manual (<i>joystick</i>) em tarefa de perseguição de alvos apresentados na tela (40 tentativas em cada dia por 2 dias).	Precisão dos movimentos da tarefa, imediatamente e 24 horas após o treino.	Pacientes aprenderam igualmente aos controles quando avaliados em curto prazo, mas não retiveram o desempenho no longo prazo, ao contrario dos controles.	Não houve deficiências de aquisição, mas sim de retenção, nos pacientes, em tarefa de perseguição de alvo.
Camicioli et al, 2008	29 pacientes com DP em e estágio inicial à moderado, não tratados; 16 idosos saudáveis	Apertar botões em tarefas de tempo de reação simples e com escolhas (2, 4 ou 8 opções) a respeito de estímulos visuais apresentados.	Tempo de latência das respostas e variabilidade entre os grupos.	Tempo de latência e variabilidade das respostas foram maiores no grupo DP, nas tarefas de tempo de reação com escolha.	Pacientes com DP mostraram deficiências em tarefas de tempo de reação com escolha.
Ghilard et al, 2003	15 pacientes com DP, em estágio inicial; 10 idosos e 9 jovens saudáveis.	Movimentos do braço para responder a: 1) tarefa de tempo de reação com alvos previsíveis; 2) mesma tarefa com alvos imprevisíveis; 3) tarefa com múltiplas demandas e alcance de alvos; e 4) aprendizado de sequencia visual sem movimento. Sessão única.	Velocidade do aprendizado nas tarefas.	Pacientes com DP aprenderam tarefas 1 e 2 igualmente aos controles, e foram mais lentos do que eles nas tarefas 3 e 4.	Fases iniciais do aprendizado de sequencias são comprometidas nos estágios iniciais da DP.

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	Resultados	Conclusões
Guadagnoli et al, 2002	20 pacientes com DP em estágio inicial a moderado, não tratados; 20 idosos saudáveis.	Treinamento em sessão única em quatro blocos de 15 tentativas de uma tarefa motora manual testada em duas condições: (1) os participantes recebiam informações sobre seu desempenho em 20% das tentativas e (2) essas informações eram fornecidas em 100% das tentativas	Velocidade e acurácia na habilidade de conduzir um cursor de um ponto inicial a um ponto final em uma mesa digitalizada, contornando um obstáculo colocado entre os mesmos, imediatamente e após 10 minutos do término do treino.	Pacientes com DP foram capazes de melhorar o seu desempenho, apresentando comportamento similar aos controles no teste de retenção imediata (melhor com 100% de realimentação) e comportamento distinto no teste de retenção após 10 minutos (melhor com 100% de realimentação).	Pacientes com DP foram capazes de melhorar o seu desempenho, mantendo-se mais dependente da realimentação, em tarefa sequencial.
Jessop et al, 2006	10 pacientes com DP, em estágio inicial a moderado, medicados; 10 idosos saudáveis.	Tarefas de equilíbrio antecipatório estático e limites de estabilidade em plataforma de força que oferecia pistas indicativas e retroalimentação. Treinamento em sessão única, em 5 blocos de 3 tentativas, por 4 vezes.	Velocidade e amplitude dos movimentos e controle direcional, testados imediatamente, 24 horas e 1 semana após o treinamento.	Pacientes mostraram capacidade normal de aprender, mas com desempenho inferior.	Pacientes com DP podem se beneficiar da prática em tarefas de equilíbrio.
Jobges et al, 2004	14 pacientes com DP em estágio inicial à moderado;	Treino de passos compensatórios para aumentar respostas posturais de proteção, por	Comprimento dos passos, tempo de iniciação dos passos, cadência, velocidade de marcha,	Houve melhora significativa em todas as medidas que permaneceram estáveis por 2 meses, sem treino adicional.	Pacientes com DP aprendem em tarefas de passos compensatórios, com

14 idosos saudáveis 14 dias, 2x/dia. tempo de duplo apoio e mobilidade. treino repetitivo e intenso.

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	Resultados	Conclusões
Kelly et al, 2004	12 pacientes com DP, em estágio moderado, em estado <i>off</i> ; 12 idosos saudáveis.	Apertar botões em tarefas de tempo de reação simples, com sequências de estímulos visuais previsíveis e imprevisíveis, sob tarefa dupla.	Tempo de reação	As sequências imprevisíveis não foram aprendidas por nenhum grupo, enquanto ambos os grupos aprenderam as sequências previsíveis.	Pacientes com DP podem aprender em tarefas sequenciais previsíveis de tempo de reação, ao contrário das imprevisíveis.
Lin et al, 2007	20 pacientes com DP, em estágio inicial, medicados. 20 idosos saudáveis	3 tarefas de mover uma alavanca sobre uma mesa, realizadas em prática randômica e bloqueada, com oferta de retroalimentação.	Trail Making Test para testar capacidade de transferência; desempenho motor na tarefa.	A capacidade de transferência dos pacientes foi inferior aos controles, seu número de erros foi maior na aquisição e, na retenção, os que treinaram com prática bloqueada, foram mais precisos que os da randômica.	Pacientes mostraram capacidade de aprender a tarefa de movimentos sequenciais, mas com desempenho inferior aos controles.
Marinelli et al, 2010	23 pacientes com DP, em estágio inicial, medicados; 13 idosos	Treinamento em sessão única em tarefa de mover rapidamente um cursor em direção a alvos que eram apresentados randomicamente na tela.	Tempo de reação, duração do movimento, velocidade, amplitude, erro espacial; Aprendizado declarativo.	Pacientes com DP mostraram maiores tempos de reação e tempos de movimento, enquanto o aprendizado visual foi reduzido comparado aos	Pacientes apresentaram prejuízo no aprendizado de movimentos sequenciais.

saudáveis.

Aprender ordem da
sequencia de
aparecimento de
estímulos.

controles.

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	Resultados	Conclusões
Messier, et al, 2007	8 pacientes com DP, em estágio inicial a moderado, em estado <i>off</i> ; 10 idosos e 10 jovens saudáveis.	Treinamento em sessão única em tarefa de movimentar o braço dominante para alcance de alvo em ambiente virtual, sob diferentes condições.	Numero de erros e variabilidade nos movimentos.	Pacientes mostraram comprometimento durante a fase de aprendizado reverso e foram inaptos a fazer correções apropriadas aos movimentos.	Pacientes apresentaram prejuízo no aprendizado de adaptação a contingências sensorio-motoras em tarefa de perseguição de alvo.
Michel et al, 2009	17 pacientes com DP, em estágio inicial, medicados; 15 idosos saudáveis.	Ultrapassar obstáculos andando sobre uma esteira, com objetivo de minimizar a distância entre o pé e o obstáculo a cada tentativa, recebendo retroalimentação auditiva. Foram realizados 2 blocos de 60 passos.	Diminuição da distância entre pé e obstáculos e no numero de choques com os obstáculos	Pacientes reduziram a distância entre pé e obstáculos igualmente aos controles, mas com melhora lenta e com desempenho pior.	Pacientes apresentaram capacidade de aprendizado, mas com aquisição mais lenta, em tarefa de ultrapassagem de obstáculos.
Mochizuki-Kawai et al, 2010	10 pacientes com DP, em estágio inicial à moderado;	Treinamento, em 3 sessões, de 2 sequências de movimentos de apertar 8 botões diferentes, com	Numero de erros e aprendizado explícito sobre as sequências.	Pacientes apresentaram maior numero de erros do que os controles no aprendizado de uma nova	Pacientes apresentaram prejuízo no aprendizado de sequências.

medicados;
12 idosos
saudáveis

os dedos.

sequência.

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	Resultados	Conclusões
Muslimovic et al, 2007	95 pacientes com DP, em estágio inicial a moderado, na maioria medicados; 44 idosos saudáveis.	Treinamento em sessão única, em tarefa de apertar botões de acordo com estímulos visuais apresentados em uma tela. Foram realizados 7 blocos de 100 tentativas com sequências de 10 estímulos repetitivos ou randômicos.	Tempo de reação, testes neuropsicológicos de memória declarativa e de funções executivas e visuo-espaciais	Os grupos não diferiram no aprendizado de sequências repetidas, ao contrário das sequências randômicas, apesar dos pacientes serem menos eficientes; Pacientes em estágio mais moderado mostraram pior desempenho. Pacientes mostraram comprometimentos na atenção, funções executivas, memória explícita e habilidades visuo-espaciais.	Pacientes apresentaram prejuízo no aprendizado de sequências e em funções executivas.
Onla-or e Winstein, 2008	20 pacientes com DP, em estágio moderado e medicados; 20 idosos saudáveis.	3 variações de um movimento de braço objetivo-dirigido, treinadas em 2 dias, em 2 níveis de dificuldade e 2 níveis de condições de prática (baixa e alta demandas), com oferta de retroalimentação.	Precisão dos movimentos em teste realizado 1 dia após a prática, sem retroalimentação.	Todos os participantes melhoraram com a prática, porem, pacientes com DP tiveram maior dificuldade com as tarefas de nível de dificuldade alta e baixa demanda de prática. Tiveram desempenho comparável em tarefas de alta demanda de	Pacientes com DP podem aprender em tarefas motoras de alcance de alvos com alta demanda de prática.

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	prática.	Conclusões
				Resultados	
Pendt et al, 2011	19 pacientes com DP não demenciados, medicados, em estagio leve à moderado; 19 idosos saudáveis.	Treino em tarefa de arremesso de uma bola para acertar um alvo, em ambiente virtual, por 5 dias e no teste de retenção 7 a 9 meses depois do treino.	Precisão dos arremessos	Pacientes mostraram aprendizado similar aos controles. Diferenças ocorreram nos teste de retenção de curto prazo	Pacientes com DP apresentaram aquisição normal, mas retenção deficiente em tarefa de arremesso de bola virtual.
Price e Shin, 2009	12 pacientes com DP em estagio inicial, 10 pacientes com DP em estagio moderado, medicados; 19 idosos saudáveis	Treinamento em sessão única em tarefa de identificação de estímulo visual na tela do computador e resposta motora usando dedos indicadores, de forma rápida. Foram realizados 10 blocos de 76 tentativas.	Tempo de reação.	Pacientes iniciais tiveram aprendizado normal enquanto os pacientes moderados mostraram prejuízo em relação aos controles	O aprendizado de tarefa de tempo de reação foi prejudicado na DP conforme a doença evolui.
Rostami e Ashayeri, 2009	9 pacientes com DP, em estágio inicial, medicados; 9 idosos	Levar a mão à boca após apresentação de estímulo visual. Realizada por 1 semana, 120 tentativas por dia.	Tempo de reação	Pacientes com DP mostraram aprendizado no pós teste imediato, mas não na retenção, comparados aos controles.	Pacientes com DP apresentaram prejuízo na retenção de tarefa de tempo de reação simples.

saudáveis

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	Resultados	Conclusões
Sarazin et al, 2002	Experimento 1: 20 pacientes com DP, em estágio inicial e 20 idosos saudáveis. Experimento 2: 15 pacientes com DP, em estágio inicial apenas. Nos dois experimentos, pacientes medicados	Experimento 1: tarefa de seguimento de alvo com movimento de braço (<i>rotor pursuit task</i>) e de leitura em espelho. Experimento 2: testes de função executiva e de leitura em espelho.	Desempenho nas tarefas e numero de erros.	Na <i>rotor pursuit task</i> pacientes aprenderam normalmente, mas com desempenho inferior aos controles. Na leitura em espelho os pacientes mostraram aprendizado em ambos os experimentos. Porém, pacientes com disfunção executiva foram severamente comprometidos no aprendizado das tarefas.	Pacientes com DP tem prejuízo no aprendizado processual de perseguição de alvo quando tem associadamente, disfunções cognitivas.
Seidler et al, 2007	8 pacientes com DP, em estágio inicial à moderado, medicados; 6 idosos saudáveis.	Treinamento em sessão única, em tarefa de apertar botões de acordo com estímulos visuais apresentados em uma tela, usando 4 dedos da mão. Foram realizados 12 blocos de 94 tentativas.	Tempo de reação, numero de erros e investigação de aprendizado explícito.	Pacientes foram capazes de aprender implicitamente a tarefa motora, com menor numero de erros e foram aptos a transferir o aprendizado entre as mãos.	Pacientes com DP não apresentaram prejuízo no aprendizado de sequência implícita.

Smiley-Oyen et al, 2006	7 pacientes com DP, em estágio inicial, medicados; 7 idosos saudáveis	Treinamento por 3 semanas em tarefas de realizar 8 posturas adaptadas do <i>Tae kwan do</i> , em sequencia e abotoar em diferentes vestimentas, com oferta de imagens demonstrativas e retroalimentação.	Tempo total para realização das tarefas e numero de erros	Pacientes com DP apresentaram melhora no desempenho de ambas as tarefas, que foi menor que os controles, mas com aprendizado similar. Retenção preservada 3 semanas após o treino	Pacientes com DP foram aptos a aprender em tarefas de manutenção e transição postural e de abotoar.
--------------------------------	--	--	---	---	---

Referência	Sujeitos	Tarefa envolvida	Medida de resultado	Resultados	Conclusões
Stephan et al, 2011	39 pacientes com DP em estágios de leve a moderado, medicados; 39 idosos saudáveis.	Treinamento em sessão única, em tarefa de apertar botões de acordo com estímulos visuais apresentados em uma tela. Foram realizadas 2 sequências diferentes, em 8 blocos de 100 tentativas cada.	Numero de erros e tempo de reação	Pacientes foram aptos a adquirir as 2 sequências, mas precisaram de mais tempo que os controles. O desempenho foi fortemente correlacionado com o estagio da doença.	Pacientes com DP são capazes de aprender 2 sequências diferentes, em sucessão, em tarefa de tempo de reação.
van Asselen et al, 2009	30 pacientes com DP em estágio inicial; 30 idosos saudáveis.	Localizar rapidamente um alvo na tela entre vários distratores. Algumas apresentações eram repetidas durante o treino com 384 tentativas, divididas em 16 blocos.	Tempo de reação	Os pacientes não conseguiram responder mais rapidamente às apresentações repetidas, como fizeram os controles.	Pacientes tem deficiências em tarefas de tempo de reação simples.

A análise das variáveis estabelecidas, nos 25 artigos selecionados, mostrou que:

1. Em relação ao perfil dos pacientes com DP: Dos estudos selecionados, 12 deles (48%) investigaram pacientes em estágio inicial da doença (Sarazin et al, 2002; Ghilard et al, 2003; Smiley-Oyen et al, 2006; Lin et al, 2007; Akamatsu et al, 2008; Rostami e Ashayeri, 2009; van Asselen et al, 2009; Price e Shin, 2009; Michel et al, 2009; Marinelli et al, 2010; Bedard e Sanes, 2011; Arias et al, 2012), dois deles (8%) investigaram pacientes em estágio moderado (Kelly et al, 2004; Onla-or e Winstein et al, 2008) e 11 deles (44%) investigaram pacientes em estágio de leve à moderado (Guadagnoli et al, 2002; Agostino et al, 2004; Jobges et al, 2004; Jessop et al, 2006; Messier, et al, 2007; Muslimovic et al, 2007; Seidler et al, 2007; Camicioli et al, 2008; Mochizuki-Kawai et al, 2010; Pendt et al, 2011; Stephan et al, 2011).

Quanto ao estado de medicação dos pacientes durante os treinamentos, 16 deles (64%) treinaram pacientes em estado *ON* de medicação (Sarazin et al, 2002; Agostino et al, 2004; Jessop et al, 2006; Smiley-Oyen et al, 2006; Lin et al, 2007; Muslimovic et al, 2007; Seidler et al, 2007; Akamatsu et al, 2008; Onla-or e Winstein et al, 2008; Michel et al, 2009; Price e Shin, 2009; Rostami e Ashayeri, 2009; Marinelli et al, 2010; Mochizuki-Kawai et al, 2010; Pendt et al, 2011; Stephan et al, 2011), cinco deles (20%) treinaram pacientes em estado *OFF* de medicação (Guadagnoli et al, 2002; Kelly et al, 2004; Messier, et al, 2007; Camicioli et al, 2008; Arias et al, 2012) e quatro deles (16%) não controlaram o estado de medicação dos pacientes treinados (Ghilard et al, 2003; Jobges et al, 2004; van Asselen et al, 2009; Bedard e Sanes, 2011).

2. Em relação ao tipo de tarefa: nove deles (36%) envolveram movimentos sequenciais de dedos (Guadagnoli et al, 2002; Ghilard et al, 2003; Agostino et al, 2004; Lin et al, 2007; Muslimovic et al, 2007; Seidler et al, 2007; Marinelli et al, 2010; Mochizuki-Kawai et al, 2010; Stephan et al, 2011); seis (24%) envolveram tempo de reação em tarefas de apertar botões rapidamente após a apresentação de estímulos visuais (Kelly et al, 2004; Camicioli et al, 2008; Akamatsu et al, 2008; Price e Shin, 2009; van Asselen et al, 2009) ou de movimento de levar a mão à boca (Rostami e Ashayeri, 2009); e quatro (16%) envolveram movimentos de perseguição a alvos apresentados na tela de um computador (Sarazin et al, 2002; Messier, et al, 2007; Onla-or e Winstein, 2008; Bedard e Sanes, 2011). Tarefas de equilíbrio (Jessop et al, 2006), de passos compensatórios (Jobges et al, 2004), de ultrapassagem de obstáculos (Michel et al, 2009), de arremesso de bola virtual (Pendt et al,

2011) de transição entre posturas e de abotoar (Smiley-Oyen et al, 2006) e de movimentos rítmicos de dedos (Arias et al, 2012), foram envolvidas em um estudo cada (4%). Por meio dessa análise também se pode verificar que apenas seis deles (24%) contemplaram tarefas motoras funcionais (Jobges et al, 2004; Jessop et al, 2006; Smiley-Oyen et al, 2006; Michel et al, 2009; Rostami e Ashayeri, 2009; Pendt et al, 2011), ou seja, utilizadas no cotidiano dos participantes e que apenas 4 deles (16%) utilizaram ambiente virtual como recurso de treinamento (Messier, et al, 2007; Akamatsu et al, 2008; Pendt et al, 2011; Arias et al, 2012).

3. Em relação à presença de fatores facilitadores à aprendizagem: Dos estudos que mostraram capacidade de aprendizagem preservada nos pacientes com DP, 11 deles (44%) incluíram, no treinamento das tarefas, fatores facilitadores para a aprendizagem. Pistas visuais foram incluídas em sete estudos (28%) (Kelly et al, 2004; Smiley-Oyen et al, 2006; Jessop et al, 2006; Seidler et al, 2007; Camicioli et al, 2008; Stephan et al, 2011; Bedard e Sanes, 2011), e retroalimentação visual ou auditiva foram incluídas em seis estudos (24%) (Guadagnoli et al, 2002; Smiley-Oyen et al, 2006; Jessop et al, 2006; Lin et al, 2007; Onla-or e Winstein, 2008; Michel et al, 2009).

4. Em relação ao número total de tarefas treinadas: Constatou-se que em apenas cinco estudos (20%) foram treinadas mais do que duas tarefas motoras e ou cognitivas com exigências diferentes, no mesmo grupo de participantes (Ghilard et al, 2003; Smiley-Oyen et al, 2006; Jessop et al, 2006; Lin et al, 2007; Mochizuki-Kawai et al, 2010).

5. Em relação à capacidade de aprendizagem na DP: Verificou-se também que do total de estudos analisados, 14 deles (56%) mostraram como conclusão que a capacidade de aprendizagem motora nas tarefas treinadas estava preservada em pacientes com DP (Guadagnoli et al, 2002; Jobges et al, 2004; Kelly et al, 2004; Agostino et al, 2004; Smiley-Oyen et al, 2006; Jessop et al, 2006; Seidler et al, 2007; Lin et al, 2007; Onla-or e Winstein, 2008; Camicioli et al, 2008; Michel et al, 2009; Stephan et al, 2011; Bedard e Sanes, 2011), enquanto 11 deles (44%) concluíram que a capacidade de aprendizagem motora nas respectivas tarefas foi comprometida nos pacientes, quando comparada aos controles (Sarazin et al, 2002; Ghilard et al, 2003; Muslimovic et al, 2007; Messier, et al, 2007; Akamatsu et al, 2008; Rostami e Ashayeri, 2009; Price e Shin, 2009; van Asselen et al, 2009; Mochizuki-Kawai et al, 2010; Marinelli et al, 2010; Arias et al, 2012).

Em síntese, a análise dos estudos selecionados mostrou que: a maioria deles investigou pacientes com DP em estágios iniciais e sob efeito da medicação de reposição de dopamina, utilizando uma única tarefa manual, em muitos casos treinadas sob condições que ofereciam pistas visuais que guiavam a tarefa ou permitiam a retroalimentação do desempenho, e concluiu, com discreta superioridade numérica, que a capacidade de aprendizagem estava preservada.

1.2.4 A Realidade Virtual

Mais de uma definição pode ser atribuída à realidade virtual, de forma complementar. Ela pode ser definida, segundo Riva (2002), como uma avançada forma de interface homem-computador que permite ao usuário interagir com ela e imergir em um ambiente virtual, de uma forma extremamente natural e realista. Pode ser definida também como uma experiência imersiva, interativa e tridimensional, que ocorre em tempo real, por meio do uso de um computador (Deutsch et al, 2008). E pode ser definida, ainda, como uma tecnologia baseada no uso de computador, que proporciona um ambiente multissensorial com o qual o usuário pode interagir (Levin, 2011).

Tal tecnologia permite aos profissionais um alto nível de controle sobre a duração, intensidade e ambientes de treinamento que o mundo real não possibilitaria, além da enriquecedora experiência proporcionada aos aprendizes possibilitando a realização de tarefas impossíveis de serem realizadas, com segurança, em um ambiente real (Deutsch et al, 2008).

A realidade virtual oferece a chance de repetição intensiva de tarefas significativas com retroalimentação aumentada, além da possibilidade de mudanças nos níveis de dificuldade na realização da tarefa e do aumento de sua interação dinâmica com o aprendiz, por ressaltar aspectos de informação em tempo real, características que não são atingíveis no mundo real (Fong et al, 2010). Sua tecnologia tem um grande potencial para habilitar os profissionais a estabelecer e enriquecer ambientes de treinamento que se beneficiem das vantagens dos princípios do aprendizado motor e da plasticidade neural (Levin, 2011).

Sua utilidade para avaliação da aprendizagem pode ser discutida a partir de três conceitos chave que norteiam o aprendizado motor: a repetição, a retroalimentação e a

motivação (Holden, 2005). Esses elementos, incluindo também aqueles ligados à observação do movimento, à prática em massa repetitiva e às terapias de imitação, que tem como objetivo facilitar a produção voluntária dos movimentos, podem ser facilmente incorporados à realidade virtual para otimizar o treinamento sensório-motor e atingir redes neuronais como as das áreas motoras, importantes para o aprendizado (Adamovich et al, 2009). Isto torna esse recurso potencialmente útil, pois permite, por exemplo, a ativação do sistema de neurônios espelho pela observação dos movimentos dos avatares na tela, combinando assim características que podem aumentar o potencial do treino induzindo à neuroplasticidade (Saposnik et al, 2010).

Sob esse raciocínio, o uso da realidade virtual estimula ações motoras orientadas por ambientes virtuais que, combinadas com a observação dos movimentos virtuais que espelham os movimentos executados e pretendidos pelos aprendizes, criam condições que facilitam a reorganização funcional dos sistemas motores e pré-motores por meio do engajamento das áreas motoras não lesadas, pelo recrutamento de redes neuronais alternativas (Cameirao et al, 2010) ou ainda pelo recrutamento gradativo da atividade de neurônios motores antes silenciosos (Holden, 2005). Combinadas, essas vantagens poderiam servir para facilitar e enriquecer as dinâmicas de treinamento com objetivo de avaliação da aprendizagem na DP.

Segundo Albani et al (2002), como pacientes com DP criam estratégias motoras que se utilizam de pistas externas para facilitar seus movimentos, a realidade virtual poderia funcionar como fonte de estimulação externa para a efetivação dos planos motores deficientes, por meio da criação de imagens mentais. Poucos estudos, entretanto, investigaram os efeitos do uso da realidade virtual em pacientes com DP. As tarefas treinadas nesses estudos envolveram planejamento (Klinger et al, 2006), atividades de vida diária (Albani et al, 2002), marcha (Mirelman et al, 2011; Park et al, 2011), movimentos de alcance (Messier et al, 2007; Wang et al, 2009; Ma et al, 2011), tomada de decisão (Albani et al, 2010), controle postural (Yen et al, 2011; Ma et al, 2012), coordenação de movimentos de dedos (Arias et al, 2012) e seus sistemas eram compostos por equipamentos de alta tecnologia com recursos em três dimensões (3D).

Uma alternativa mais econômica e, portanto, mais disponível são os sistemas de realidade virtual que se utilizam de vídeo games de última geração. Dentre esses equipamentos o vídeo game Nintendo Wii® tem se mostrado uma alternativa portátil, fácil de usar, de baixo custo, boa confiabilidade (Clark et al, 2010; Saposnik et al, 2010; Clark et al,

2011; Gil Gomez et al, 2011) e com potencial para ser utilizado no treinamento e na avaliação da aprendizagem motora.

1.2.4.1 O sistema Wii®

O console do vídeo game Nintendo Wii® (Figura 3a) foi concebido em 2001 e comercializado a partir de 2006 nos Estados Unidos, Japão e Europa, revolucionando o mercado de games pela sua diferenciada forma de interação com o usuário (Butler e Willet, 2010). O sistema disponibiliza diversos tipos de jogos temáticos e/ou esportivos, motivadores e interativos, nos quais o jogador deve movimentar partes, ou todo o corpo, para realizar as tarefas propostas (Joo et al, 2010).

O participante atua por meio de controles sem fio que processam seus movimentos e as acelerações deles decorrentes, de forma tridimensional, transportando-os para os ambientes dos jogos, nos quais os movimentos são reproduzidos, fidedignamente, por avatares customizados (Dias et al, 2009).

Um sensor de luz infravermelha, posicionado sobre ou sob a tela de projeção, captura e reproduz na mesma, os movimentos feitos por meio desses controles, exatamente como estão sendo feitos pelo usuário (Saposnik et al, 2010). Três tipos de controles sem fio podem ser utilizados de forma separada ou simultânea repercutindo os movimentos feitos pelos membros superiores (Wii *remote*® e *Nunchuck*®) e pelos membros inferiores (Wii *Balance Board*®) (Anderson et al, 2010).

O Wii *remote*® (figura 3b) é o controle primário do console do Nintendo Wii® (figura 3b) e caracteriza-se por um dispositivo sem fio com tamanho e formato aproximados aos de um controle remoto de televisão e com *design* que possibilita a ambidestrezza (Hurkmans et al, 2011). O controle contém sensores de aceleração e giroscópios tridimensionais embutidos, a fim de captar movimentos de punho, cotovelo e ombro do usuário, em todas as direções, acelerações e velocidades (Butler e Willet, 2010). Os movimentos reais são repercutidos na tela, de forma que os movimentos virtuais do avatar sejam semelhantes àqueles empreendidos no plano real, pelo jogador. O controle emite sinais infravermelhos a partir de sua extremidade anterior, durante as movimentações do jogador, que são captados por um sensor (*sensor bar*) que, por sua vez, transmite os sinais captados ao console principal. O dispositivo

contém mini alto falantes embutidos que emitem, em alguns dos jogos, sons e ruídos que auxiliam e motivam o jogador a atingir os objetivos propostos e também permite seu uso na função “*rumble*” que é caracterizada por pequenas vibrações produzidas por ele, proporcionando uma retroalimentação proprioceptiva ao usuário. O *Wii remote*® é manipulado pelo jogador, de maneira semelhante à forma que sua mão assumiria ao manipular um objeto no mundo real (Deutsch et al, 2008).

O *Nunchuck*® (figura 3c) é outro tipo de controle manual que é necessário em alguns jogos do sistema *Wii*®. Assim como o *Wii remote*®, ele também contém acelerômetros dispostos nos três planos de movimento que respondem a e sinalizam todos os movimentos feitos pelo membro superior do jogador mas sem conter mini-falantes, função *rumble* ou função de apontador, como o *remote*®. O *Nunchuck*® é utilizado sempre conectado ao *Wii remote*® por um cabo, em jogos que exigem movimentos simultâneos de ambos os membros superiores (Saposnik et al, 2010).

Figura 3 - a) console *Wii*®; b) *Wii remote*®; c) *Nunchuck*® conectado ao *Wii remote*®

A *Wii Balance Board*® (figura 4) é um dispositivo de formato retangular e plano, semelhante a uma balança de banheiro que utiliza conectividade sem fio por meio de tecnologia *Bluetooth*. Contém quatro sensores de pressão situados em cada um de seus ângulos retos que detectam os mais leves movimentos do usuário que se coloca sobre ele na posição ortostática determinando, em tempo real, a posição dos pés, a distribuição de peso e o consequente deslocamento do centro de massa. Para isso, os sensores fornecem diferentes valores de pressão quando a postura ortostática do usuário muda (Shih et al, 2010 b). Assim,

os jogadores utilizam o equipamento interagindo com os jogos por meio do deslocamento de seu peso, multidirecionalmente (Gil-Gomez et al, 2010; Lange et al, 2010)

O equipamento pode ser usado como ferramenta para avaliação do equilíbrio ortostático, uma vez que possui características similares às de uma plataforma de força utilizadas em laboratórios, sendo, porém, de muito menor custo, além de portátil, confortável e de fácil manuseio, devido ao seu pequeno tamanho e peso (Young et al, 2011).

Figura 4 - Wii Balance Board®

O pacote de jogos mais comumente associado à *Wii Balance Board®* é o Nintendo *Wii Fit Plus®* (Figura 5). Esse pacote estimula a realização de tarefas virtuais ligadas ao controle do equilíbrio ortostático (Meldrun et al, 2012), à alternância de passos e a exercícios aeróbicos, de condicionamento e de força muscular (Dias et al, 2009). O pacote apresenta cerca de 40 atividades cognitivo-motoras diferentes, que proporcionam retroalimentação visual, tátil e/ou auditiva sobre o deslocamento e posicionamento do centro de massa do jogador, sobre a alternância de passos realizada e sobre os movimentos dos membros superiores, ao mesmo tempo em que estimulam a realização das tarefas (Williams et al, 2010). A maioria dos jogos do Nintendo *Wii Fit Plus®* requer a divisão de atenção entre a tarefa motora e a observação e resposta aos estímulos apresentados na tela (tarefa cognitiva), incluindo, portanto, características do paradigma da dupla tarefa (Yamada et al, 2011).

Figura 5 – a) capa do pacote Wii Fit Plus® e b) exemplos de telas de jogos e movimentos relacionados.

Uma das características importantes do sistema é que as pontuações dos jogos do pacote Wii Fit Plus® podem ser usadas como instrumentos de medidas de desempenho pós treinamento, conforme já comprovado por estudos (Yamada et al, 2011; Doughert et al, 2011) e o dispositivo Wii Balance Board® apresenta confiabilidade comparável às plataformas de força para a mensuração dos deslocamentos do centro de massa (Clark et al, 2011; Young et al, 2011) e da assimetria da descarga de peso (Clark et al, 2010; Shih et al, 2010 a) servindo, assim como ferramenta válida para avaliação do equilíbrio.

1.2.4.2 Aprendizagem nos jogos do sistema Wii®

O sistema Wii®, por meio de sua tecnologia e dispositivos de interface diferenciada, proporciona um ambiente virtual favorável a aprendizagem motora. A diversidade de jogos interativos oferecidos por ele pode promover treinamento baseado em tarefas, de forma a motivar o usuário e facilitar a aprendizagem por prover a ele uma grande quantidade de conhecimento de resultados (Deutsch et al, 2011). Os jogos do sistema são desenhados para serem divertidos e interativos, com pontuações e várias características motivacionais. A atribuição de medalhas de acordo com a classificação obtida pelo jogador, comentários

encorajadores que são apresentados na tela e/ou feitos pelo narrador virtual, vídeos com as repetições dos desempenhos dos jogadores e trilha sonora sincronizada, que enfatiza momentos cruciais das tarefas, são exemplos das características que desafiam e encorajam os participantes a melhorar seus desempenhos (Joo et al, 2010).

Tais características podem ser vantajosas para o treinamento extensivo, pois podem proporcionar oportunidade da realização de exercícios repetitivos e tarefa-específicos, com manutenção da motivação durante todo o período de treinamento (Anderson et al, 2010).

A facilidade na utilização e a grande variedade de demandas motoras e cognitivas dos jogos disponíveis fazem do sistema uma fonte de ambientes virtuais de entretenimento e interatividade que favorece a manutenção de treinamentos de movimentos grosseiros de membros superiores, equilíbrio, controle postural, movimentos de alternância de passos e estimulação visuo-motora, por mais longo tempo (Saposnik et al, 2010).

Somadas a essas vantagens, a oferta contínua de retroalimentações visuais, auditivas e táteis ao participante e as simulações de tarefas complexas criadas pelos jogos, leva à inferência de que mais altos níveis de atividade podem ser atingidos. A retroalimentação proporcionada pela tela de projeção somada à oportunidade de observar os próprios movimentos em tempo real gera reforço positivo, facilitando o treinamento e o desempenho motor (Kwok et al, 2011).

Até o momento, entretanto, apenas dois estudos pilotos, investigaram os efeitos do treino por meio do sistema Wii® em pacientes com DP. Ambos foram realizados em ambiente domiciliar. O primeiro deles utilizou o *Wii remote*® como ferramenta de avaliação de aspectos motores e não motores em pacientes com DP. Por meio de tecnologia *Bluetooth* e utilizando um *laptop*, os pacientes executavam tarefas cognitivo-motoras simples baseadas em alvos apresentados na tela do equipamento, realizando movimentos com *Wii remote*®. Seus resultados mostraram que o equipamento foi sensível para identificar diferenças nos padrões de movimento exibidos pelos pacientes, em comparação aos controles (Synnott et al, 2011). Já o segundo estudo, teve como objetivo avaliar os efeitos de um treinamento usando o Nintendo Wii Fit Plus® sobre o equilíbrio e habilidades funcionais em pacientes com DP, comparados com idosos saudáveis. O treinamento teve duração de 6 semanas totalizando 18 sessões, nas quais foram praticados sete jogos do pacote. Os pacientes mostraram significativa melhora em testes de equilíbrio estático e dinâmico, após o treinamento (Esculier et al, 2012).

Este último estudo, embora tenha mostrado o potencial terapêutico do treino no Wii®, não investigou a aprendizagem dos pacientes nos diferentes jogos, analisando possíveis efeitos das diferentes demandas motoras e cognitivas sobre a aprendizagem dos pacientes.

Diante da diversidade dos resultados dos estudos sobre a aprendizagem motora na DP, da possibilidade de que não apenas aspectos motores mas também cognitivos possam ter contribuído para isto, nós acreditamos que a investigação da aprendizagem após um treinamento extensivo em jogos que ofereçam demandas motoras similares, mas cognitivamente distintas e vice-versa, treinados sob as mesmas condições, num mesmo grupo de pacientes, permitiria que novas evidências fossem reunidas para compreender melhor as possíveis deficiências de aprendizagem na DP. O fato dos jogos envolverem respostas de equilíbrio e movimentos de membros inferiores similares à marcha amplia os resultados dos estudos anteriores que, na grande maioria, estudaram tarefas manuais.

Embora não tenham sido encontrados estudos que tenham utilizado o Wii® com este propósito, o seu sistema é adequado para tanto, à medida que oferece um repertório de jogos que permite a seleção daqueles com diferentes combinações de demandas motoras e cognitivas, confiabilidade para detecção do deslocamento do centro de massa pela plataforma Wii Balance Board® e confiabilidade no sistema de pontuação de desempenho.

2 OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo foi investigar a aprendizagem de pacientes com DP em 10 jogos do vídeo game Nintendo Wii Fit Plus®, com diferentes demandas motoras e cognitivas, por meio das modificações do desempenho após o treinamento comparando-a com a aprendizagem de indivíduos saudáveis da mesma faixa etária.

2.1 Objetivos específicos

- i. Comparar as modificações de desempenho inter sessões de treino em pacientes com DP e idosos saudáveis, em 10 diferentes jogos do Nintendo Wii Fit Plus®.
- ii. Comparar as modificações de desempenho mantidas após 60 dias sem treinamento em pacientes com DP e idosos saudáveis, em 10 diferentes jogos do Nintendo Wii Fit Plus®.
- iii. Investigar a influência das diferentes demandas motoras e cognitivas dos 10 jogos do Nintendo Wii Fit Plus® nas modificações de desempenho pelo treinamento, em pacientes com DP e idosos saudáveis.

2.2 Hipótese

Tomando como fundamentação a diversidade de resultados dos estudos que investigaram a aprendizagem motora na DP e os numerosos fatores motores e cognitivos que podem estar associados às suas deficiências, a principal hipótese deste estudo é que a capacidade de pacientes com DP de aprender novas habilidades motoras por meio do treinamento seja influenciada pelas demandas motoras e cognitivas das tarefas.

Assim, conforme a demanda motora e cognitiva dos jogos, os pacientes podem apresentar aprendizagem similar ou deficiente, em comparação a idosos saudáveis. A comparação da aprendizagem em 10 diferentes jogos treinados simultaneamente, sob as mesmas condições, num mesmo grupo de pacientes e idosos saudáveis pode permitir que tal hipótese seja investigada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tipo de Estudo

Trata-se de um estudo clínico, controlado e longitudinal.

3.2 Casuística

O cálculo do tamanho amostral foi realizado com a pontuação média do jogo Torso Twists do Nintendo Wii Fit®, com base em um estudo piloto que mostrou que, nesse jogo, pacientes com DP em estágios iniciais e idosos saudáveis apresentaram o mesmo desempenho inicial. Assim, o valor inicial médio adotado foi 70, com desvio-padrão de 12, considerando-se 20 pontos como diferença entre antes e depois do treino. O resultado indicou que 18 participantes (nove em cada grupo), seriam necessários para obter um poder de 90%. Foram recrutados, então, 25 pacientes com DP e 16 idosos saudáveis considerando-se possíveis perdas ao longo do estudo. Nove pacientes com DP e cinco idosos saudáveis foram excluídos do estudo.

Assim, participaram deste estudo 16 pacientes sendo nove homens e sete mulheres, com média de idade de 68,63 anos (Desvio Padrão = 7,97) com diagnóstico de DP idiopática, em tratamento estável com Levodopa, sendo dois deles classificados como estágio um e 14 como estágio dois segundo a escala de estágios de incapacidade de Hoehn e Yahr. Esses pacientes foram recrutados em associações de assistência a pacientes com DP (Pró Parkinson de Jundiaí e Brasil Parkinson de São Paulo) e fizeram parte do grupo experimental (GE). Fizeram parte do grupo controle (GC) 11 idosos saudáveis pareados ao GE por idade e sexo, sendo seis homens e cinco mulheres, com média de idade de 68,66 anos (Desvio Padrão = 4,12), recrutados na Associação da Terceira Idade Santa Cruz e Grupo de Terceira Idade do Colégio Regina Mundi, ambas de São Paulo.

3.2.1 Critérios de Inclusão

A participação dos sujeitos do estudo foi condicionada aos seguintes critérios de inclusão:

1. Pontuação mínima de 24, no Mini Exame do Estado Mental (MEEM) (Brucki et al, 2003): O MEEM é um instrumento de rastreio de comprometimento cognitivo podendo ser utilizado como ferramenta clínica na detecção de perdas cognitivas, no seguimento evolutivo de doenças e no monitoramento de resposta ao tratamento ministrado e como instrumento de pesquisa em estudos epidemiológicos populacionais fazendo parte integrante de várias baterias neuropsicológicas. Suas questões avaliam orientação temporal e espacial, memória imediata, atenção, cálculo, evocação de palavras, linguagem e capacidade construtiva visual. Seu escore varia de 0 a 30 e, usualmente, o valor de corte é de 24.

2. Pontuação máxima de cinco na Escala de Depressão em Geriatria de 15 itens (GDS-15) (Almeida e Alemida, 1999): A Escala de Depressão em Geriatria ('Geriatric Depression Scale' — GDS) é um dos instrumentos mais frequentemente utilizados para a detecção de depressão no idoso. Diversos estudos já demonstraram que a GDS oferece medidas válidas e confiáveis para a avaliação de transtornos depressivos. Além disso, versões reduzidas da GDS com 1, 4, 10, 15, e 20 questões (em contraste com as 30 questões da versão original) vêm sendo utilizadas de forma cada vez mais frequente. No presente estudo utilizamos a versão com 15 questões.

3. Acuidade visual normal ou corrigida e boa acuidade auditiva;

4. Pontuação 1 ou 2 na Escala de Hoehn e Yahr.

5. Nível de escolaridade mínima de 4 anos e máxima de 15 anos de estudo formal.

3.2.2 Critérios de exclusão

Após a seleção de todos os participantes que atenderam aos critérios de inclusão, foram excluídos aqueles que:

1. Apresentassem doenças neurológicas (excluindo a DP para o GE) ou ortopédicas detectáveis;

2. Tivessem experiência prévia com o pacote de jogos do Nintendo Wii Fit Plus®;

3. Estivessem frequentando outro programa de reabilitação;

3.2.3 Termo de Consentimento

Foi obtido o termo de consentimento de cada participante antes do início do estudo (Anexo A). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa do Centro Universitário São Camilo, para o uso de seres humanos em pesquisa com Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) sob o numero 0166.0.166.000-8 (Anexo B).

3.3 Local

A triagem dos participantes, assim como os treinamentos, foram realizados nas dependências dos laboratórios do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Padre Anchieta, em Jundiaí – SP, situados no Campus Prof. Pedro C. Fornari, na Av. Dr. Adoniro Ladeira, 94, Km 55,5 Via Anhangüera e na Associação Brasil Parkinson, situada na Av. Bosque da Saúde, 1155, São Paulo – SP.

3.4 Materiais

3.4.1 Exercícios de mobilidade

- 1 cadeira
- 1 apoio para os pés
- 2 bastões
- 2 bolas pequenas (15 cm de diâmetro)
- 1 thera-band®
- 1 colchonetes

- 1 caneleira de ½ e 1 kg
- 1 bola média
- 1 bola grande
- 1 disco de propriocepção

3.4.2 Treinamento no Nintendo Wii Fit Plus®

- 1 console do vídeo game Nintendo Wii®
- 1 controle Wii remote®
- 1 controle Wii Nunchuk®
- 1 Wii Balance Board®
- 1 pacote de jogos Wii Fit Plus®
- 1 projetor Epson® Power Lite S1+
- 1 tela de projeção de lona medindo 2x2 m.

3.5 Procedimentos

3.5.1 Triagem

Vinte e cinco pacientes provenientes das associações de assistência a pessoas com DP e 16 idosos saudáveis provenientes das associações de terceira idade citados anteriormente, foram triados segundo os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos. Assim, ao final da triagem, 16 pacientes com DP e 11 idosos saudáveis foram eleitos para participarem do estudo. O fluxograma geral de todas as etapas do estudo é apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma dos procedimentos do estudo. *, 5 jogos por sessão, GE, Grupo experimental; GC, Grupo Controle.

3.5.2 Treinamento

Ambos os grupos realizaram 14 sessões de treinamento individual, supervisionado por um fisioterapeuta, duas vezes por semana, sempre nos mesmos dias da semana e nos mesmos períodos do dia. A escala de agendamento das sessões de treino foi organizada de forma que os pacientes com DP fossem treinados sempre no período *ON* da medicação. No caso de faltas dos participantes, as sessões deveriam ser repostas na mesma semana da falta.

Todas as sessões eram iniciadas com 30 minutos de exercícios de aquecimento que envolviam mobilidade de cervical, tronco superior, tronco inferior, pelve, membros superiores e inferiores, segundo um protocolo pré estabelecido contendo 22 exercícios divididos em quatro sequências (Anexo C) que foram distribuídos igualmente, por região corporal, dentro das 14 sessões iniciais e nas duas sessões adicionais (retenção de 60 dias). Após a realização dos exercícios de aquecimento, os participantes eram encaminhados ao treinamento virtual no Nintendo Wii Fit Plus®.

Antes do início da primeira sessão de treino virtual em cada jogo o fisioterapeuta fazia a apresentação e explicava os objetivos de cada um deles permitindo que cada participante realizasse duas tentativas por jogo para a familiarização com as tarefas e com os equipamentos.

A Figura 8 mostra a imagem de uma sessão de treino no Nintendo Wii Fit Plus® e dos equipamentos utilizados.

Figura 8 - Imagem de uma sessão de treinamento no Nintendo Wii Fit Plus®

Em cada sessão foram treinados cinco dos 10 jogos selecionados, distribuídos de forma que nas sessões ímpares fossem treinados cinco jogos diferentes das sessões pares. Cada sessão de treinamento virtual teve duração de 30 minutos. A distribuição dos jogos nas

sessões de treino respeitou esse tempo máximo e também a homogenização das tarefas motoras dos jogos, exigidas por sessão.

Foram realizadas duas tentativas por jogo, em cada uma das sessões, sendo que a primeira foi considerada como treinamento e a segunda como avaliação da aprendizagem naquele jogo. Durante a realização da primeira tentativa, os participantes foram auxiliados verbal e proprioceptivamente (por meio de contato manual do fisioterapeuta no corpo do paciente) sobre a melhor e mais correta forma de se movimentar para atingir os objetivos dos jogos. Na segunda tentativa os participantes jogaram sem nenhum auxílio, com exceção da motivação verbal que foi constante, sendo que nessa tentativa a pontuação final do jogo foi registrada para posterior análise da curva de aprendizado inter sessão. Como a aprendizagem pode ser inferida apenas com base nas mudanças estáveis de desempenho, após um período mínimo de 24 horas (Kantak e Winstein, 2012), neste estudo não foi comparado o desempenho intra-sessão.

Foram respeitados períodos de descanso entre a realização de cada exercício de aquecimento e/ou de cada jogo, conforme necessidade individual de cada participante.

Sessenta dias após a última sessão de treino em cada um dos dois grupos de cinco jogos, foram realizadas duas sessões adicionais que tiveram objetivo de avaliar a retenção da aprendizagem após um longo período sem treinamento. Essas duas sessões seguiram os mesmos procedimentos das sessões de treino repetindo os mesmos dias, horários e distribuição de jogos estabelecidos pela escala de treinamento.

Portanto, ao final do estudo, cada um dos 10 jogos foi treinado e avaliado em oito sessões, totalizando 16 sessões de treinamento.

3.5.2.1 Seleção dos jogos

O processo de seleção dos jogos contou com a participação de três fisioterapeutas pesquisadores na área de neurociências. Após a leitura e discussão de vários estudos sobre a aprendizagem motora na DP foi realizada uma análise conjunta de todo o repertório de jogos

oferecidos pelo Nintendo Wii Fit Plus®, identificando-se aqueles que poderiam oferecer condições de treino similares em relação às quantidades de estimulação visual e auditiva e a oferta de retroalimentação, mas que exigissem diferentes habilidades motoras e cognitivas para a sua resolução.

Após essa etapa, foram selecionados 16 jogos potenciais. Na próxima etapa, a capacidade dos pacientes com DP em estágios iniciais da doença jogarem os jogos selecionados com segurança, foi verificada.

Como critérios para a seleção final foram considerados os jogos que fossem exequíveis, porém desafiadores para a maioria dos pacientes. Assim, ao final desse processo foram selecionados 10 jogos que, em relação às demandas motoras, exigiam: em quatro deles, o deslocamento multidirecional do centro de massa corporal; em dois deles a estabilização do centro de massa corporal durante um intervalo de tempo determinado; e, em quatro deles, a alternância de passos. Em relação às demandas cognitivas todos os jogos exigiam respostas a estímulos visuais e auditivos, avaliação de desempenho por retroalimentação visual e auditiva; três jogos exigiam planejamento de ações voltadas para a resolução da tarefa; dois jogos exigiam tomada de decisões; um jogo exigia memória operacional; três jogos exigiam sustentação da atenção a estímulos visuais e auditivos; três jogos exigiam dupla tarefa; e, dois deles, exigiam a inibição de respostas.

As descrições dos jogos selecionados e a distribuição dos jogos por sessão, com as diferentes combinações entre demandas motoras e cognitivas de cada um dos jogos podem ser analisadas em detalhes nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Jogos do Wii Fit Plus® selecionados e suas descrições

JOGO	TELA	DESCRIÇÃO
<i>Table Tilt</i>		São projetados na tela, uma plataforma com orifícios e bolas sobre ela. O objetivo do jogador é encaixar as bolas nos orifícios e evitar que elas caiam da plataforma, dentro do tempo determinado pelo jogo, por meio de inclinações na mesma que são feitas com os deslocamentos do peso corporal sobre a <i>Wii Balance Board</i> ®. À medida que o jogador avança de fase mais bolas e orifícios vão surgindo, aumentando progressivamente o grau de dificuldade do jogo. O jogador só passa de fase se conseguir encaixar todas as bolas apresentadas no tempo determinado. Quanto antes o jogador encaixar as bolas, maior será o tempo da fase seguinte. A cada fase completada o jogador acumula pontos. Estímulos visuais e sonoros reforçam que o objetivo foi atingido.
<i>Obstacle Course</i>		O corredor virtual deve percorrer um caminho no qual há obstáculos a serem ultrapassados como esferas pendulares e pontes movediças. O jogador deve alternar passos ou parar de “andar” sobre a <i>Wii Balance Board</i> ®, para controlar a velocidade da marcha do corredor virtual, com os objetivos de evitar as esferas e passar pelas pontes. Se o corredor for atingido pelas esferas ou cair das pontes, perde tempo no jogo. A pontuação é proporcional à distância percorrida pelo jogador. Quanto mais rápido o jogador vencer os obstáculos, maior distância será alcançada e mais tempo ele terá para concluir o percurso.
<i>Rhythm Parade</i>		Trata-se de um desfile de fanfarra virtual, no qual o jogador deve marchar sobre a <i>Wii Balance Board</i> ® segundo o ritmo determinado pelo avatar e pela música. Simultaneamente, deve realizar movimentos com os braços, para movimentar os controles manuais, como se estivesse batendo em um tambor. O momento e o lado correto das batidas são determinados por círculos que se sobrepõem na tela do jogo. A pontuação se dá de

acordo com a adequação do ritmo da marcha e com o número de acertos dos movimentos com os controles manuais. Informações sobre a precisão das batidas são fornecidas continuamente (ex. “perfeito”, “falha”).

Tilt City

O jogador controla as inclinações de três plataformas virtuais por meio do *Wii Remote*® e com deslocamentos feitos sobre a *Wii Balance Board*®. Na base da tela há três baldes coloridos. O objetivo do jogador é direcionar as bolas que vão caindo, para os baldes da mesma cor, movendo, simultaneamente, a plataforma superior e as inferiores. Para isso, ele tem que controlar todas as bolas sobre as plataformas e direcioná-las para o lado certo. Quando a bola cai no balde correto o jogador marca pontos e estímulos visuais reforçam o êxito.

Single Leg Extension

O jogador deve permanecer em apoio unipodal sobre a *Wii Balance Board*® enquanto realiza movimentos com os membros superiores e o inferior contralateral. O objetivo do jogo é imitar os movimentos mostrados pelo instrutor virtual no ritmo determinado pelo som de um apito, mantendo estável a projeção do centro de massa que é representada por um ponto vermelho dentro de uma área amarela. Os deslocamentos desse ponto são mostrados continuamente na tela durante o tempo de duração do jogo.

Basic Run Plus

O jogador precisa realizar alternância de passos, diretamente sobre o piso da sala de treino, para fazer com que um corredor virtual percorra um caminho que varia a cada tentativa. Ao mesmo tempo, ele deve tentar memorizar detalhes do trajeto que lhe serão solicitados, ao final do percurso, por meio de três perguntas que são modificadas em cada tentativa.

Basic Step

O jogador deve subir e descer da *Wii Balance Board®* na sequência e no ritmo determinados pelos avatares e pelas pistas visuais (desenhos dos pés). O jogador marca pontos toda vez que sobe e desce da *Wii Balance Board®*, no ritmo exigido e com o pé correto. Informações sobre a precisão dos movimentos dos pés são fornecidas continuamente (ex. “OK”, “falha”).

Torso Twists

O jogador deve replicar os movimentos de um instrutor virtual que realiza séries de rotações do tronco bilateralmente e, em seguida, associa rotações com flexões de tronco. O objetivo do jogo é imitar os movimentos mostrados pelo instrutor no ritmo determinado pelo som de um apito, mantendo estável a projeção do centro de massa que é representada por um ponto vermelho dentro de um círculo amarelo. Os deslocamentos desse ponto são mostrados continuamente na tela durante o tempo de duração do jogo.

Soccer Heading

O jogador tem como objetivo cabecear o maior número de bolas de futebol que são lançadas em várias direções. O avatar replica na tela os movimentos do jogador sobre a *Wii Balance Board®*. Podem ser lançadas, bolas ou cabeças de ursos, de cores iguais, ou ainda chuteiras. O jogador deve decidir, rapidamente, sobre deslocar-se ou permanecer parado, para evitar o choque dos objetos “não bola” contra ele, o que causa perda de pontos. A cada bola cabeceada, o jogador aumenta a sua pontuação.

Penguin Slide

O jogador deve, com deslocamentos sobre a *Wii Balance Board®*, direcionar os movimentos do avatar, sobre uma pedra de gelo flutuante, para comer o maior número de peixes que saltam sobre o gelo e evitar que ele caia na água. Os peixes saltam à direita ou à esquerda, indicando a direção do movimento a ser feito. A pontuação é proporcional ao número de peixes coletados.

Tabela 3 - Distribuição dos jogos, por sessão de treinamento, e as demandas motoras e cognitivas de cada jogo.

Sessões 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 e retenção	Demandas motoras dos jogos	Demandas cognitivas dos jogos	Sessões 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 e retenção	Demandas motoras dos jogos	Demandas cognitivas dos jogos
Table Tilt	Deslocar multi-direcionalmente e lentamente o centro de massa, mantendo pés imóveis	Planejar movimentos a fim de alcançar os alvos	Basic Run Plus *	Manter marcha estacionária, sobre o solo	Dividir atenção entre marcha e tarefa de memorizar itens de informação do percurso e responder questões ao final dele
Obstacle Course	Realizar marcha estacionária em velocidade alta, baixa ou interrompê-la, quando necessário	Decidir sobre a melhor velocidade da marcha, quando desacelerar ou parar. Inibição de resposta	Basic Step	Alternar passos subindo e descendo da Wii Balance Board®, seguindo o ritmo do jogo	Manter e deslocar a atenção para seguir pistas visuais e auditivas que guiavam os movimentos dos pés
Rhythm Parade	Realizar marcha estacionária sobre Wii Balance Board®, com ritmo determinado pelo jogo, enquanto faz movimentos de flexo-extensão de cotovelos	Dividir atenção entre marcha e tarefa de atingir alvos randômicos com movimentos de um ou ambos os braços	Torso Twists	Realizar rotações de tronco, movendo os braços e mantendo pés imóveis, com estabilidade	Manter atenção e imitar os movimentos do instrutor virtual.
Tilt City	Deslocar lateralmente o centro de massa, enquanto movimenta os braços,	Identificar cor do estímulo e dividir atenção entre movimentos dos braços e quadris para dirigir	Soccer Heading	Deslocar o centro de massa, látero-lateralmente enquanto mantém os pés	Identificar estímulos e decidir rapidamente sobre a direção do movimento

	mantendo os pés imóveis	objetos até os alvos de cor correspondente		imóveis	para atingí-los ou evitá-los. Inibição de resposta.
Single Leg Extension	Apoio unipodal enquanto move braços e perna contralateral, mantendo estabilidade	Manter atenção e imitar os movimentos do personagem.	Penguin Slide	Deslocar o centro de gravidade, látero- lateralmente com pés imóveis	Planejar movimentos do personagem na direção dos alvos

*Jogo no qual o participante não realiza a tarefa motora sobre o *Wii Balance Board®*.

3.6 Análise dos Dados

As diferenças observadas entre as características demográficas e clínicas dos pacientes do grupo controle e do grupo experimental, antes do início do treinamento, foram testadas utilizando-se o Teste T de Student.

Como medida de aprendizagem foram utilizadas as pontuações obtidas pelos participantes nas segundas tentativas das oito sessões, para cada um dos 10 jogos. Após a realização de testes de normalidade e homogeneidade os resultados foram comparados por meio da Análise de Variância (ANOVA) para medidas repetidas 2X8, uma para cada uma das variáveis independentes (pontuações em cada um dos 10 jogos), utilizando como fatores, os dois grupos (controle e experimental) e as oito sessões (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 e retenção), sendo esta a medida repetida.

Para os efeitos que alcançaram nível de significância de 5%, foi realizado o Teste Post Hoc de Tukey-Kramer (TPH), para a comparação par a par inter e intra grupo.

Todas as análises foram conduzidas usando o programa Statistica 10 da empresa Statsoft (EUA).

4 RESULTADOS

4.1 Características dos participantes

As características dos participantes do grupo controle e do grupo experimental antes do início do treinamento são mostradas na Tabela 4. Nenhuma diferença estatisticamente significativa foi verificada entre os dois grupos, nos aspectos avaliados.

Tabela 4 - Características dos participantes antes do início do treinamento.

Grupos de participantes			
	Média (Desv Pad)		
	GE (n = 16)	GC (n = 11)	p
Idade (anos)	68.63 (7.97)	68.66 (4.12)	0.98 ^a
H&Y (intervalo)	1-2		
Duração da doença (anos)	4.69 (5.43)		
MEEM (pontuação)	27.16 (1.94)	28.28 (1.11)	0.18 ^a
GDS-15 (pontuação)	3.61 (1.75)	2.44 (1.58)	0.12 ^a

Abreviações: Desv Pad, Desvio Padrão; GC, Grupo Controle; GE, Grupo Experimental; H&Y, Escala de Hoehn e Yahr; MEEM, Mini Exame do Estado Mental; GDS, Escala de Depressão Geriátrica 15 itens; ^a, Teste T.

4.2 Aprendizagem nos jogos

A Tabela 5 mostra a média e o desvio padrão dos valores das pontuações obtidas por sessão de treino em cada jogo pelos grupos experimental e controle, além dos níveis de significância atingidos na ANOVA para medidas repetidas e no teste post hoc de Tukey-Kramer, para a comparação entre a primeira sessão (S1) e cada uma das sessões seguintes.

Tabela 5 - Efeitos inter grupo e inter sessões (comparados à S1) nas sessões 1 a 7 e na retenção, em todos os jogos, em ambos os grupos.

Jogos	Efeitos e (poderes)	Grupo	Sessões							Retenção
			1	2	3	4	5	6	7	
Torso Twists	a††(0.99)	GE	72(22)	69(21)	74(19)	73(21)	75(20)	76(19)	80(20) ^{**}	76(19)*
		GC	77(10)	78(11)	80(8)	83(8)	82(6)	86(7)	89(8) ^{**}	87(8)*
Single Leg Extension	a††(0.90)	GE	55(24)	57(28)	58(28)	65(25)	67(21)	65(26)	69(17)*	68(24)*
		GC	73(11)	71(13)	72(14)	73(12)	80(9)	80(9)	83(8)*	80(7)*
Rhythm Parade	a††(0.99) b††(0.85)	GE	214 (113)	258 (129)	289 (124) ^{**}	302 (118) ^{**}	302 (113) ^{**}	304 (107) ^{**}	302 (111) ^{**}	289 (113) ^{**}
		GC	331 (103)	359 (72)	385 (72) ^{**}	403 (45) ^{**}	431 (67) ^{**}	429 (64) ^{**}	458 (54) ^{**}	413 (64) ^{**}
Table Tilt	a††(0.99) b†(0.80)	GE	23(16)	29(20)	37(28)	33(19)	38(17) ^{**}	39(13) ^{**}	41(20) ^{**}	37(13) ^{**}
		GC	38(20)	43(16)	43(10)	47(13)	53(16) ^{**}	64(18) ^{**}	63(23) ^{**}	64(25) ^{**}
Tilt City	a††(0.99) b††(0.82)	GE	35(18)	42(28)	40(16)	49(32)	46(18)	47(20)*	67(41) ^{**}	66(43) ^{**}
		GC	58(33)	63(25)	70(24)	69(28)	77(36)	101(50) [*]	106(55) ^{**}	99(54) ^{**}
Basic Step	a††(0.99) b††(0.89)	GE	106(42)	126(54)*	132(51) ^{**}	145(50) ^{**}	153(50) ^{**}	152(48) ^{**}	169(46) ^{**}	154(46) ^{**}
		GC	147(38)	175(43)*	184(31) ^{**}	196(32) ^{**}	206(35) ^{**}	224(33) ^{**}	228(32) ^{**}	222(25) ^{**}
Penguin Slide	a††(0.99) b†(0.80)	GE	41(9)	45(9)	48(13)*	47(10)*	48(15) ^{**}	48(10) ^{**}	53(11) ^{**}	49(10) ^{**}
		GC	43(7)	54(11)	53(10)*	60(19)*	59(12) ^{**}	62(13) ^{**}	67(16) ^{**}	61(19) ^{**}
Obstacle Course	a††(0.99) b†(0.80) c††(0.97)	GE	37(21)	44(34)	41(38)	59(62)	62(95)	75(58)	82(80)	52(52)
		GC	56(62)	78(84)	87(92)	94(62)	127(103)	169 (146)*	196 (167) ^{**}	201 (186) ^{**}
Soccer Heading	a††(0.99) b††(0.85) c††(0.99)	GE	11(5)	13(7)	17(9)	13(7)	16(9)	16(9)	16(9)	14(8)
		GC	24(26)	30(33)	52(51)*	63(66) ^{**}	60(67) ^{**}	62(57) ^{**}	69(59) ^{**}	65(55) ^{**}

Basic Run Plus	a††(0.99)	GE	43(18)	43(13)	47(17)	46(16)	47(16)	50(15)	56(20)	52(19)
	b††(0.99)									
	c††(0.90)	GC	99(35)	109(33)	109(37)	102(34)	118(40)	119(39)	131(36) **	134(40) **

Legendas: a, efeito de sessão; b, efeito de grupo; c, efeito de interação; † $p < 0.05$; †† $p < 0.01$ (ANOVA Medidas Repetidas); * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ (Teste post hoc de Tukey-Kramer - comparações par a par inter sessão em relação à S1)

Os resultados obtidos com as pontuações nos jogos durante as sessões de treino foram divididos de acordo com os efeitos encontrados nas análises pela ANOVA medidas repetidas e são apresentados abaixo.

4.2.1 Jogos nos quais os pacientes com DP apresentaram desempenho e aprendizagem sem deficiências

Para os jogos Torso Twists (Gráfico 1) e Single Leg Extension (Gráfico 2), a ANOVA medidas repetidas, revelou efeitos significativo apenas para sessão, sem efeito de grupo ou de interação entre fatores (Tabela 5).

Gráfico 1 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Torso Twists no Grupo experimental e no Grupo Controle. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ (Teste post hoc de Tukey-Kramer – comparação par a par inter sessão em relação à S1).

Gráfico 2 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Single Leg Extension no Grupo Experimental e no Grupo Controle. * $p < 0.05$ (Teste post hoc de Tukey-Kramer – comparação par a par inter sessão em relação à S1).

A aprendizagem de ambos os jogos foi lenta, o que foi evidenciado pela melhora significativa no desempenho apenas na sétima sessão de treino, independente do grupo.

Assim, pacientes com DP não apresentaram prejuízos no desempenho desses dois jogos, nem deficiências na capacidade de aprender por meio do treino, em comparação aos idosos saudáveis.

4.2.2 Jogos nos quais os pacientes com DP apresentaram capacidade de aprendizagem sem deficiências, mas prejuízos no desempenho

Para os jogos Rhythm Parade (Gráfico 3), Table Tilt (Gráfico 4), Tilt City (Gráfico 5), Basic Step (Gráfico 6) e Penguin Slide (Gráfico 7), a ANOVA medidas repetidas revelou efeitos significativos de grupo e de sessão, sem interação entre os mesmos (Tabela 5).

**Médias das pontuações e intervalos de confiança de 95%,
de ambos os grupos, no jogo Rhythm Parade**

Gráfico 3 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Rhythm Parade, no Grupo Experimental e no Grupo Controle. ** $p < 0.01$ (Teste post hoc de Tukey-Kramer – comparação par a par inter sessão em relação à S1)

**Médias das pontuações e intervalos de confiança de 95%,
de ambos os grupos, no jogo TableTilt**

Gráfico 4 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Table Tilt no Grupo Experimental e no Grupo Controle. ** $p < 0.01$ (Teste post hoc de Tukey-Kramer – comparação par a par inter sessão em relação à S1).

Gráfico 5 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Tilt City no Grupo Experimental e no Grupo Controle. * $p<0.05$; ** $p<0.01$ (Teste post hoc de Tukey-Kramer – comparação par a par inter sessão em relação à S1).

Gráfico 6 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Basic Step no Grupo Experimental e no Grupo Controle. * $p<0.05$; ** $p<0.01$ (Teste post hoc de Tukey-Kramer – comparação par a par inter sessão em relação à S1).

Gráfico 7 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Penguin Slide no Grupo Experimental e no Grupo Controle. * $p<0.05$; ** $p<0.01$ (Teste post hoc de Tukey-Kramer – comparação par a par inter sessão em relação à S1).

A análise das curvas de aprendizado de cada um desses cinco jogos mostrou que independente do grupo a aprendizagem do Basic Step foi mais rápida, com melhora significativa do desempenho já a partir da segunda sessão, seguida pelos jogos Rhythm Parade e Penguin Slide, com evidência de aprendizagem a partir da terceira sessão, pelo Table Tilt, com evidência de aprendizagem a partir da quinta sessão de treino e, finalmente, pelo Tilt City no qual a aprendizagem foi a mais tardia, apenas após a sexta sessão (Tabela 5).

Em síntese, nesses cinco jogos os pacientes com DP a despeito de apresentarem desempenho inferior desde o início do treino que se manteve durante todo o estudo, não apresentaram deficiências em comparação aos idosos saudáveis, na capacidade de aprender em cada um deles por meio do treino, embora a velocidade do processo tenha variado entre os jogos.

4.2.3 Jogos nos quais os pacientes com DP apresentaram deficiências no desempenho e na capacidade de aprender

Para os jogos Obstacle Course (Gráfico 9), Soccer Heading (Gráfico 10) e Basic Run Plus (Gráfico 11), a ANOVA medidas repetidas mostrou uma interação significativa entre os fatores sessão e grupo (Tabela 5).

Gráfico 9 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Obstacle Course no Grupo Experimental e no Grupo Controle. * $p < 0.05$ (Efeito de grupo - Teste post hoc de Tukey-Kramer).

Médias das pontuações e intervalos de confiança de 95%,
de ambos os grupos, no jogo Soccer Heading

Gráfico 10 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Soccer Heading no Grupo Experimental e no Grupo Controle. * $p < 0.05$ (Efeito de grupo - Teste post hoc de Tukey-Kramer).

Médias das pontuações e intervalos de confiança de 95%,
de ambos os grupos, no jogo Basic Run Plus

Gráfico 11 - Médias das pontuações e intervalo de confiança das sessões 1 a 7 e na avaliação da retenção no jogo Basic Run Plus no Grupo Experimental e no Grupo Controle. ** $p < 0.01$ (Efeito de grupo - Teste post hoc de Tukey-Kramer).

A análise das curvas de aprendizagem mostrou que nos jogos Obstacle Course e Soccer Heading os pacientes com DP iniciaram o treino com desempenho similar aos idosos. Entretanto, como apenas os idosos se mostraram capazes de aprender por meio do treino, com melhora significativa de desempenho a partir da sexta sessão para o Obstacle Course e a partir da terceira sessão de treino para o Soccer Heading, seu desempenho tornou-se significativamente superior aos dos pacientes com DP, a partir da sexta sessão de treino.

Já para o jogo Basic Run Plus, os pacientes com DP apresentavam um desempenho significativamente inferior desde o início do treino, condição mantida até o final do estudo, à medida que apenas os idosos mostraram capacidade de aprender e evidenciada somente após a sétima sessão de treino, quando houve uma melhora significativa do seu desempenho.

Em síntese, os pacientes com DP apresentaram deficiência na capacidade de aprender por meio do treino nesses três jogos, independente da presença ou não de prejuízos iniciais no desempenho, em comparação aos idosos saudáveis.

5 DISCUSSÃO

O presente estudo investigou a aprendizagem de pacientes com DP por meio das modificações no desempenho desencadeadas pelo treinamento em 10 jogos do Nintendo Wii Fit Plus®, que apresentavam diferentes demandas motoras e cognitivas, comparando-os com idosos saudáveis. A hipótese do presente estudo era de que, conforme as demandas motoras e cognitivas dos jogos, pacientes com DP apresentariam ou não deficiências de aprendizagem em comparação aos idosos. O desenho adotado para o estudo, no qual todos os participantes treinaram simultaneamente todos os jogos nas mesmas condições, permitiu que fossem comparados os aprendizados nos diferentes jogos, identificadas as eventuais diferenças no aprendizado de cada jogo e, finalmente, analisadas quais características dos jogos poderiam ter contribuído para as mesmas.

Os resultados confirmaram que houve diferenças de aprendizagem entre os jogos sendo que em sete deles (Torso Twists, Single Leg Extension, Rhythtm Parade, Table Tilt, Tilt City, Basic Step e Penguin Slide) os pacientes com DP apresentaram aprendizagem normal em comparação aos idosos saudáveis, a despeito de apresentarem desempenho inferior em cinco deles (Rhythtm Parade, Table Tilt, Tilt City, Basic Step e Penguin Slide). Em contraste, os pacientes se mostraram incapazes de aprender com o treino em três jogos (Obstacle Course, Soccer Heading e Basic Run Plus), nos quais os idosos apresentaram significativa aprendizagem.

Desses resultados emergem, segundo nossa análise, duas importantes evidências:

A primeira delas é que os pacientes com DP foram capazes de aprender na maioria dos jogos treinados, independente de apresentarem ou não prejuízos no seu desempenho em comparação aos idosos. Isto sugere que mesmo habilidades prejudicadas pela doença podem ter o seu desempenho melhorado por meio de treino, sendo esta uma das mais importantes implicações deste estudo.

Dentre os sete jogos nos quais não houve prejuízo na aprendizagem, em dois deles (Torso Twists e Single Leg Extension) também não houve deficiências no desempenho dos pacientes em relação aos idosos. Isto provavelmente se deva às características motoras e cognitivas desses jogos.

A demanda motora desses dois jogos consistia, unicamente, em manter a estabilidade do centro de massa corporal durante a movimentação simultânea e lenta de membros superiores, inferiores e/ou tronco, com apoio de um pé (Single Leg Extension) ou de ambos os pés (Torso Twists), usando como referência a retroalimentação visual de um ponto, mostrado na tela, que deveria ser mantido estável dentro de uma área restrita.

De acordo com um estudo prévio que avaliou o controle postural de pacientes com DP e idosos saudáveis sobre uma plataforma de força, a retroalimentação visual do centro de massa corporal levou a uma redução significativa da oscilação corporal em todos os participantes (Waterston et al, 1993). Esse achado sugere que a retroalimentação visual fornecida pelos jogos no presente estudo, pode ter sido importante para facilitar o controle da estabilidade e melhorar o desempenho dos pacientes, potencializando a aprendizagem. Adicionalmente, outros estudos que testaram o equilíbrio de pacientes com DP, em condições estáticas como as desses jogos, também não encontraram deficiências em comparação a idosos saudáveis (Pires, 2006; Termoz et al, 2008).

A demanda cognitiva desses dois jogos consistia em manter a atenção aos deslocamentos de um ponto que representavam os deslocamentos da projeção do centro de massa do participante, a fim de controlá-los. Portanto, as habilidades cognitivas exigidas eram, fundamentalmente, focar e sustentar a atenção em um único alvo. Dentre as habilidades cognitivas, essas são, de fato, pouco prejudicadas nos estágios iniciais da DP (Koerts et al, 2010; Zhou et al, 2012).

Portanto, para esses jogos, as demandas motora (controle estático do centro de massa) e cognitiva (atenção focada e sustentada), foram adequadamente assimiladas, devido provavelmente, ao fato dessas habilidades serem pouco afetadas na DP, o que pode explicar que os pacientes tenham tido desempenho similar ao de idosos saudáveis.

Ainda sobre esses jogos, foi constatado que tanto pacientes como idosos apresentaram uma aprendizagem lenta, evidenciada pela melhora no desempenho, que atingiu níveis significativos apenas no final do treino, mas que se manteve estável após o término do mesmo. Assim, a lentidão na aprendizagem destes jogos não poderia ser atribuída às possíveis deficiências de aprendizagem da DP mas, talvez, ao fato de ambos os grupos já terem partido de pontuações iniciais elevadas, tendo assim pouco a melhorar, o que poderia justificar esse achado.

Nos demais cinco jogos (Rhythm Parade, Table Tilt, Tilt City, Basic Step e Penguin Slide), nos quais os pacientes com DP também não apresentaram prejuízos na aprendizagem,

eles apresentaram por outro lado, desempenho inferior aos idosos saudáveis ao longo de todas as sessões.

O pior desempenho nesses jogos, provavelmente, está associado às demandas motoras e cognitivas dos mesmos, mais complexas em comparação aos dois jogos anteriores nos quais não foram encontradas diferenças nos desempenhos dos dois grupos.

A demanda motora dos jogos Rhythm Parade e Basic Step exigia a habilidade de alternar passos que eram guiados por pistas visuais e auditivas. Estudos mostraram que pacientes com DP têm dificuldades na iniciação e alternância de passos, o que implica em uma redução da velocidade com aumento da variabilidade da marcha (Yogev et al, 2007; Hausdorff, 2009; Christiansen et al, 2009; Jacobs et al, 2009; Chastan et al, 2009). Essa dificuldade pode, contudo, ser reduzida pela presença de pistas rítmicas visuais e auditivas embora não completamente eliminada (Rochester et al, 2007; Baker et al, 2008; Morris et al, 2008; Rochester et al, 2009; de Bruin et al, 2010; Cho et al, 2010). Assim, apesar desses jogos oferecerem condições favoráveis ao desempenho dessa tarefa, elas não foram suficientes para que os pacientes alcançassem o mesmo desempenho dos idosos.

A demanda motora dos outros três jogos nos quais os pacientes não apresentaram prejuízos na aprendizagem (Table Tilt, Tilt City e Penguin Slide), envolvia deslocamentos multidirecionais do centro de massa em diferentes velocidades, o que exigiu o controle dinâmico do equilíbrio. Estudos mostraram que o controle dinâmico de equilíbrio está comprometido na DP, mesmo em estágios iniciais de progressão da doença (Stack et al, 2005; Yang et al, 2008; Suarez et al, 2009).

Adicionalmente, estes jogos envolviam diferentes demandas cognitivas. Enquanto Rhythm Parade e Tilt City exigiam a divisão da atenção entre movimentos de membros inferiores e superiores, Table Tilt e Penguin Slide exigiam o planejamento dos movimentos necessários para se alcançar os objetivos e o Basic Step exigia sustentação e direcionamento seletivo da atenção a vários estímulos. Estudos mostraram que essas habilidades cognitivas (atenção dividida, planejamento e atenção seletiva), estão comprometidas mesmo nos estágios iniciais da DP (Campos-Souza et al, 2010; Hackney e Earhart, 2011; Koerts et al, 2011; Solis-Vivanco et al, 2011; Fok et al, 2012; Zhou et al, 2012; Cameron et al, 2012).

Assim, é provável que deficiências em habilidades motoras e cognitivas envolvidas nesses jogos expliquem o desempenho inferior de pacientes com DP. Entretanto, isso não impediu que aprendessem por meio do treino, o que se tornou evidente pela melhora no desempenho dos jogos. Fatores facilitadores da aprendizagem na DP como a oferta contínua de pistas visuais e auditivas, podem ter sido importantes para a obtenção deste resultado.

Alguns estudos tem mostrado, de fato, aprendizagem preservada em pacientes com DP (Labutta et al, 1994; Agostino et al, 1996; Behrman et al, 2000; Pendt et al, 2011), particularmente em condições de treino de tarefas cognitivo-motoras que ofereçam estímulos visuais, auditivos e/ou proprioceptivos que possam direcionar os movimentos (Landers et al, 2005; Nieuwboer et al, 2007; Nieuwboer, 2008; Arias e Cudeiro, 2008; Rochester et al, 2009; Espay et al, 2010; Almeida e Bhatt, 2011; Suarez et al, 2011; de Dreu et al, 2012).

A extensão da contribuição destes fatores, para a aprendizagem nesses jogos, pode ser verificada pela análise da melhora dos desempenhos ao longo das sessões.

O jogo no qual foi observada a melhora mais rápida do desempenho logo após a primeira sessão (Basic Step) foi, sem dúvida, o que ofereceu pistas mais numerosas e objetivas, combinando avatares que direcionavam os movimentos de alternância de passos, trilha musical rítmica e imagens indicando o membro inferior a ser movido. Assim, conforme esperado, esse foi o jogo no qual se observou a aprendizagem mais rápida, tanto de pacientes com DP quanto de idosos. Isto pode ser tomado como mais uma evidência favorável à contribuição das pistas visuais e auditivas para a aprendizagem destes jogos.

Estudos recentes em pacientes com DP têm mostrado os benefícios das pistas visuais que direcionam os passos sobre o desempenho da marcha (Lebold e Almeida, 2010; Roiz et al, 2011; Lee et al, 2012; Luessi et al, 2012; Almeida e Bhatt, 2012) e, em menor quantidade, os benefícios destas pistas para o direcionamento dos movimentos de membros superiores (Gueye et al, 1998; Nieuwboer et al, 2009; Stevenson et al, 2011), na DP. Somente dois estudos, até o momento, investigaram os efeitos das pistas visuais no treino em ambiente virtual em pacientes com DP. No primeiro estudo (Griffin et al, 2011), pacientes realizaram um treino de marcha frente a desafios virtuais. Os resultados mostraram que a oferta de pistas visuais promoveu uma redução no tempo de realização da tarefa. No segundo, Schik et al (2011) treinaram um paciente com DP em esteira elétrica com suspensão de peso combinada com a apresentação ou não de pistas visuais virtuais, que indicavam o local onde cada pé deveria ser colocado. A presença das pistas visuais promoveu efeitos superiores à condição sem pistas, sobre o comprimento do passo e a simetria da marcha.

Pistas visuais na forma de avatares, embora menos estudadas, também tem sido indicadas como fatores facilitadores da aprendizagem em pacientes com DP. Pelosin (2010) discute, que a observação da ação proporcionada por um avatar que reproduz os movimentos do jogador, pode aumentar os efeitos do treinamento sobre a formação da memória motora. Isto porque áreas corticais são recrutadas e ativadas não somente durante a execução real de um movimento, mas também durante a observação de uma atividade motora. Essa ativação

pode ter um papel importante no reaprendizado motor, possivelmente por meio do sistema de neurônios espelhos. Os resultados do estudo citado indicam que a observação da ação por meio de vídeos teve um efeito positivo na recuperação da marcha em pacientes com DP, quando associada à fisioterapia convencional. Buccino (2011), em um estudo com delineamento semelhante, encontrou os mesmos resultados mostrando maior autonomia na realização de atividades de vida diária em pacientes com DP treinados pela observação da ação, associada à fisioterapia convencional.

Em relação às pistas auditivas, uma recente meta-análise de estudos clínicos randomizados em pacientes com DP sobre os benefícios do treinamento motor acoplado à música mostrou efeitos positivos deste tipo de treino sobre a velocidade da marcha (De Dreu et al, 2012). O estudo de de Bruin et al (2010), mostrou que pacientes com DP que treinaram a marcha enquanto ouviam músicas cujos compassos foram compatibilizados com suas cadências individuais, tiveram melhora na velocidade, no tempo de passada, na cadência e na severidade de sintomas motores, após a intervenção. Outro estudo que propôs uma intervenção que usou música cantada mentalmente por pacientes com DP durante o treino de marcha, promoveu melhora na velocidade e nos passos após uma única sessão (Satoh e Kuzuhara, 2008). Assim, parece que a música, quando ritmada com movimentos de alternância de passos como os da marcha pode, de fato, favorecer a execução desses movimentos em pacientes com DP.

Os dois outros jogos nos quais a oferta de pistas visuais e auditivas eram similares ao Basic Step (Rhythm Parade e Penguin Slide), apresentaram uma aprendizagem rápida logo após a segunda sessão de treino, enquanto os jogos Table Tilt e Tilt City, nos quais o aprendizado apesar de satisfatório foi mais lento (a partir da quinta e sexta sessão de treino respectivamente), não apresentavam pistas visuais em forma de avatares ou outro tipo de imagem, nem pistas auditivas rítmicas que pudessem guiar o desempenho.

Assim, o confronto entre a velocidade do processo de aprendizagem e a oferta de pistas visuais e auditivas desses cinco jogos, podem ser tomados como mais uma evidência sobre o potencial desses tipos de pistas para facilitar o processo de aprendizagem tanto em pacientes com DP como em idosos saudáveis.

A segunda importante evidência que se depreende deste estudo é que pacientes com DP foram incapazes de aprender por meio do treino em três jogos (Obstacle Course, Soccer Heading e Basic Run Plus), o que foi evidenciado pela ausência de melhora no desempenho,

em contraste aos idosos saudáveis que apresentaram significativa aprendizagem. Assim, conforme a hipótese apresentada no início do estudo, as demandas motoras e cognitivas desses jogos interferiram na capacidade de aprendizagem dos pacientes com DP tornando importante sua análise para a compreensão das limitações observadas.

A análise das demandas motoras indicou que dois dos três jogos nos quais não houve aprendizagem para pacientes com DP envolviam alternância de passos (Obstacle Course e Basic Run Plus), enquanto o terceiro envolvia movimentos bidirecionais do centro de massa corporal (Soccer Heading). Tais demandas eram, porém, similares às de outros jogos nos quais a aprendizagem foi satisfatória. Portanto, essa análise sugere que as demandas motoras desses três jogos não justificariam as deficiências de aprendizagem verificadas, embora pudessem justificar um pior desempenho em relação aos controles, como discutido anteriormente.

Já em relação às demandas cognitivas, dois dos jogos nos quais não houve aprendizado exigiam que os pacientes tomassem decisões rápidas e complexas quanto a acertar ou se esquivar de objetos virtuais apresentados na tela. Isso deveria ser feito por meio de deslocamentos laterais do centro de massa corporal (Soccer Heading), e pela aceleração ou desaceleração da marcha sobre a Wii Balance Board®, a fim de evitar obstáculos móveis apresentados durante um percurso virtual (Obstacle Course).

Assim, no jogo Soccer Heading, os participantes precisavam identificar o tipo de objeto lançado em sua direção, decidir rapidamente se a resposta adequada seria esquivar-se ou ir ao encontro do mesmo e, então, executar um movimento de deslocamento de seu centro de massa na direção correta, pois isso lhes traria maior pontuação. Já no jogo Obstacle Course, os participantes precisavam evitar a colisão, durante a marcha estacionária, com obstáculos que se mantinham em movimento uniforme. Assim, de forma semelhante ao Soccer Heading, era necessário estimar a trajetória e a velocidade de movimento dos obstáculos e decidir rapidamente entre acelerar ou desacelerar a marcha para evitar a colisão que, se acontecesse, lhes traria menor pontuação.

Embora o êxito nessas tarefas dependesse de várias habilidades motoras e cognitivas, a habilidade de tomar uma decisão correta e rápida frente a diferentes informações, com mais de uma opção de escolha de resposta, foi a característica que mais diferenciou estes jogos daqueles nos quais os pacientes não apresentaram deficiências.

Estudos mostraram que pacientes com DP, mesmo em estágios iniciais de progressão da doença, têm importantes dificuldades na tomada de decisões. Apenas dois estudos, porém, investigaram essas deficiências em pacientes com DP sob exigência de tarefas motoras e

funcionais, realizadas em ambientes virtuais. No mais recente deles, uma versão virtual do *Multiple Errand Test* foi utilizada a fim de avaliar e comparar diversas habilidades executivas, dentre elas a tomada de decisão, em pacientes com DP e idosos saudáveis. Esse teste simulou uma atividade de compras em um *shopping center*, na qual os participantes eram solicitados a selecionar e comprar itens, além de obter informações sobre eles, obedecendo a regras pré determinadas. Os participantes deveriam decidir pela sequência de ações que melhor completasse as tarefas, além de solucionar problemas da forma mais rápida possível. Esse estudo mostrou correlação do desempenho no *Multiple Errand Test* com alterações em exames de polissonografia realizados previamente, sugerindo que as deficiências em tomar decisões, presentes nos pacientes, poderiam estar correlacionadas com as alterações da estrutura do sono (Albani et al, 2011). O outro estudo, que teve delineamento idêntico, mostrou que pacientes mesmo não demenciados tiveram pior desempenho, com maior número de erros de estratégia na execução das tarefas e maior lentidão nas respostas, em comparação ao grupo controle. Segundo os autores, esses resultados sugerem tendência à tomada de decisão impulsiva, o que poderia explicar hiperatividades comportamentais observadas em alguns pacientes com DP como aquelas ligadas a compras, alimentação, sexualidade e jogos de aposta (Albani et al, 2010).

Muitos dos estudos que investigaram a habilidade de tomada de decisão em pacientes com DP utilizaram como teste a *Iowa Gambling Task* (Peretta et al, 2005; Mimura et al, 2006; Pagonabarraga et al, 2007; Kobayakawa et al, 2008; Ibarretxe-Bilbao et al, 2009; Delazer et al, 2009; Euteneuer et al, 2009). Esta tarefa consiste num jogo de aposta que envolve, resumidamente, uso de computador para decisão sobre escolha de cartas. A decisão correta ou incorreta leva o participante a, respectivamente, acumular ou perder dinheiro fictício. O objetivo da tarefa é acumular a maior quantidade de dinheiro possível, evitando sua perda, por meio do uso de estratégia correta. Os resultados desses estudos reforçaram as evidências de que pacientes com DP apresentam comprometimento na habilidade de tomar decisões em comparação a controles saudáveis pareados por idade.

Outros estudos que investigaram o tempo de reação de pacientes com DP em tarefas de múltiplas escolhas mostraram que os mesmos apresentam lentidão no processo de tomada de decisão. O estudo de Akamatsu et al (2008) analisou o desempenho de pacientes com DP em uma versão computadorizada do jogo infantil “pedra, papel e tesoura”, no qual era exigido que os participantes escolhessem, o mais rapidamente possível, uma dentre as três opções possíveis. Os resultados mostraram uma maior lentidão no tempo de reação dos pacientes, em

comparação ao grupo controle, principalmente nas condições nas quais eram apresentados estímulos visuais distratores.

Nessa mesma linha, um estudo que comparou o tempo de reação entre tarefas com múltiplas escolhas (2, 4 ou 8 opções) e tarefas com uma única resposta possível, mostrou que a lentidão de pacientes com DP no tempo de reação, em comparação a idosos, foi restrita às tarefas de múltipla escolha indicando uma deficiência do processo de tomada de decisão nessas condições (Camicioli et al, 2008).

Assim, um dos fatores que pode ter contribuído para as limitações de aprendizagem nesses dois jogos é que se as decisões não fossem rápidas o suficiente para evitar a colisão ou acertar os alvos, haveria prejuízo na pontuação que não poderia ser recuperada. A lentidão no processo de tomada de decisão observada pelos estudos supra-citados pode ter prejudicado a aprendizagem dos pacientes com DP nesses dois jogos.

Outro estudo que encontrou deficiências na tomada de decisões em pacientes com DP foi o de Labudda et al (2010). Este estudo comparou a habilidade de tomar decisões, com base na retroalimentação dos resultados das tentativas anteriores, em pacientes e idosos saudáveis, por meio do desempenho em um jogo de aposta que utilizou dados virtuais. As mudanças nos padrões de ativação cerebral foram controladas por imageamento funcional por meio de ressonância magnética. Os resultados mostraram que os pacientes apresentaram deficiências em utilizar a retroalimentação dos resultados anteriores para guiarem a tomada de decisão, embora as diferenças nos padrões de ativação cerebral durante a integração de informações relevantes para o processo de decisão tenha sido mínimas, em comparação aos controles. Os autores concluíram que as deficiências dos pacientes na habilidade de tomada de decisão nessa tarefa, foram decorrentes de uma deficiência em utilizar a retroalimentação oferecida.

Em nosso estudo, a retroalimentação do desempenho inter tentativa e dos resultados de tentativas anteriores também era fornecida continuamente por esses três jogos. Portanto, as deficiências nas tomadas de decisões observadas nesses jogos, poderiam ser explicadas, em parte, pela dificuldade na utilização da retroalimentação fornecida, dificultando a aprendizagem.

Assim, considerando que o desempenho nos jogos Soccer Heading e Obstacle Course dependia da habilidade de tomar decisões rápidas, sendo esta a principal característica que os distinguem dos demais, esta deficiência pode ter sido um importante fator limitante para a aprendizagem dos jogos dos pacientes com DP, à medida que o treinamento, ao contrário do que aconteceu com os idosos saudáveis, não propiciou melhora no desempenho.

No terceiro jogo no qual os pacientes apresentaram deficiências na aprendizagem (Basic Run Plus), eles deveriam ao final de uma caminhada virtual, responder a três questões sobre características dos estímulos visuais que eram apresentados durante o trajeto. Os estímulos e as perguntas variavam a cada tentativa, de forma a impedir a memorização. Assim, o jogo reproduzia uma condição de dupla-tarefa, na qual a atenção deveria ser dividida entre a tarefa motora, alternar passos de forma rítmica, e a cognitiva, registrar os diversos estímulos apresentados, para posterior evocação, o que também envolveu memória operacional.

Essas duas habilidades (divisão de atenção entre tarefas motoras e cognitivas e memória operacional) são, provavelmente, as principais características que diferem este dos outros jogos treinados, constituindo-se nos fatores que poderiam explicar as deficiências de aprendizagem observadas neste jogo. Vale ressaltar que em outros dois jogos (Rhythm Parade e Tilt City) que exigiam a divisão de atenção entre duas tarefas motoras (movimentos dissociados de membros superiores e inferiores), os pacientes, apesar de apresentarem desempenho inferior aos idosos, não apresentaram deficiências na aprendizagem.

Alguns estudos mostraram, de fato, que pacientes com DP apresentaram maior dificuldade em realizar duplas tarefas motora/cognitiva em comparação às duplas tarefas motora/motora. Marchese et al (2003) compararam pacientes com idosos saudáveis em um estudo posturográfico no qual a oscilação postural foi avaliada em situação de dupla-tarefa motora (oposição de dedos) e cognitiva (cálculos). O desempenho dos pacientes em comparação aos idosos saudáveis foi mais prejudicado nas condições que exigiam a divisão da atenção entre a tarefa de equilíbrio analisada e a tarefa cognitiva.

O mesmo foi observado, por outros estudos, em relação à marcha. O estudo de Rochester et al (2004) comparou os efeitos de duas diferentes condições de dupla tarefa em pacientes com DP e idosos saudáveis: 1. dupla tarefa motora – marcha com oposição de dedos; 2. dupla tarefa cognitiva - marcha com resposta a questões autobiográficas. Os resultados mostraram que os pacientes apresentaram prejuízos na velocidade da marcha e no comprimento dos passos, apenas nas condições de dupla tarefa cognitiva.

Com o mesmo objetivo, o estudo de Galletly e Brauer (2005) analisou o desempenho de pacientes com DP e idosos saudáveis na marcha, em condições de dupla tarefa motora (pressionar o botão de um contador eletrônico) e duas diferentes duplas tarefas cognitivas (subtração retrógrada e evocação verbal). Os resultados mostraram que os pacientes apresentaram prejuízos apenas nas condições de dupla tarefa cognitiva.

Adicionalmente, deficiências na memória operacional visuo-espacial em pacientes com DP, que também podem ter afetado o desempenho no jogo Basic Run Plus, têm sido descritas na literatura. Em 2008, Possin et al avaliaram a memória operacional para informações visuo-espaciais e em relação à forma de objetos, em pacientes com DP e idosos saudáveis. O resgate da informação era exigido, em diferentes intervalos, após a apresentação dos estímulos que variavam em localização e forma. A análise dos resultados mostrou que houve comprometimento na manutenção da informação tanto sobre a forma como sobre a localização do objeto nos pacientes com DP, indicando prejuízos mais acentuados na memória operacional, em comparação aos idosos saudáveis.

Em 2010, Lee et al testaram se essas deficiências seriam devidas a uma diminuição na capacidade de armazenamento ou a um comprometimento na habilidade de excluir ítems irrelevantes à tarefa. Para isso, pacientes e idosos realizaram uma tarefa de memória operacional visuo-espacial com que exigia identificação, seleção e memorização de estímulos multicoloridos. Os resultados mostraram que os pacientes foram, ao mesmo tempo, incapazes de filtrar estímulos distratores apresentados, como de manter o mesmo número de ítems na memória, em relação aos controles.

O desempenho no jogo Basic Run Plus dependia da assimilação da demanda motora, mas também, da habilidade de direcionar a atenção aos estímulos apresentados durante a marcha estacionária e da capacidade de mantê-los na memória operacional para serem resgatados ao final do jogo. Desta forma, distúrbios na atenção dividida e na memória operacional podem ter sido fatores importantes tanto para as deficiências de desempenho quanto de aprendizagem que foram apresentadas exclusivamente pelos pacientes. Infelizmente, não foi possível comparar o quanto cada um desses fatores (atenção e memória), isoladamente, contribuiu para isso.

Assim, tomados em conjunto, nossos resultados sugerem que algumas habilidades cognitivas mais afetadas na DP como a tomada de decisão, a divisão de atenção entre tarefas motoras e cognitivas e a memória operacional podem limitar a capacidade de aprender por meio do treino. A ausência de tendência de melhora nesses jogos ao longo das sessões sugere que o prolongamento do treino não reverteria essa limitação.

Outras possibilidades, que não as características das demandas cognitivas dos três jogos nos quais não houve aprendizado poderiam ser levantadas para explicar a deficiência de aprendizagem restrita aos mesmos.

Uma primeira possibilidade poderia estar relacionada à organização dos treinamentos no que diz respeito a possíveis influências dos exercícios de aquecimento, do agendamento das sessões e das condições específicas do treinamento virtual, sobre a aprendizagem. Essas possibilidades podem ser refutadas por: (1) todas as sessões de treinamento foram precedidas pelos exercícios de aquecimento e, desta forma, a nosso ver as diferentes capacidades de aprendizagem nos jogos não poderiam ser atribuídas aos efeitos desses exercícios; (2) todas as sessões foram realizadas sempre nos mesmos dias e horários da semana, respeitando os períodos *ON* de medicação de todos os pacientes, o que tornaria pouco provável que diferenças de aprendizagem fossem devidas a essas variáveis; (3) a forma de distribuição dos jogos entre e dentro das sessões (vide tabela 3 - resultados), minimiza a possibilidade da influência de fatores relacionados a circunstâncias desfavoráveis acontecidas exclusivamente nos dias de treino desses jogos.

Uma segunda possibilidade poderia estar relacionada a influências do próprio sistema Wii® no que se refere à forma de pontuações atribuídas pelos jogos e à precisão de seus controles. Estudos prévios mostraram que (1) as pontuações de jogos do próprio pacote Nintendo Wii Fit Plus® podem ser usadas como instrumentos de medidas de desempenho de treinamento em sujeitos idosos (Yamada et al, 2011; Doughert et al, 2011), o dispositivo Wii Balance Board® apresenta confiabilidade semelhante às plataformas de força utilizadas para a mensuração dos deslocamentos do centro de massa (Clark et al, 2011; Young et al, 2011) e da assimetria da descarga de peso de sujeitos saudáveis e com deficiências motoras (Clark et al, 2010; Shih et al, 2010 a). Assim, as evidências dos estudos acima não suportam a hipótese de que problemas na confiabilidade da pontuação dos jogos tenham interferido nos presentes resultados.

Do nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que investigou a aprendizagem na DP por meio da melhora de desempenho pelo treinamento, em 10 diferentes tarefas em um mesmo grupo de pacientes, comparando-os com idosos saudáveis.

A seleção de jogos que apresentaram diferentes combinações de demandas motoras e cognitivas permitiu que, por meio da análise da aprendizagem e das características desses

jogos, fossem identificados alguns dos fatores que poderiam influenciar a aprendizagem desses pacientes.

Esse desenho, ao mesmo tempo em que permitiu a comparação da aprendizagem de um mesmo grupo de pacientes em diferentes jogos, não pôde controlar os efeitos do treinamento de um jogo sobre os demais. Embora isto possa ser tomado como uma limitação do estudo, o fato de termos encontrado diferentes resultados em jogos treinados sob as mesmas condições indica que este fator não impediu a análise da influência das diferentes demandas cognitivas e motoras dos jogos para aprendizagem, principal objetivo do estudo.

Outra possível limitação do presente estudo é que não foi realizada uma avaliação das habilidades cognitivas dos pacientes, o que poderia fundamentar melhor as hipóteses apresentadas, sendo esta uma importante direção para estudos futuros. Finalmente, este estudo se limitou a investigar a aprendizagem em pacientes nos estágios iniciais de progressão da doença, treinados e testados sob efeito da medicação. Estudos futuros serão necessários para investigar a influência da progressão da doença e da reposição dopaminérgica na aprendizagem em tarefas como as que foram aqui propostas.

5.1 Implicações clínicas

Apesar deste estudo não ter esse objetivo, as evidências que se depreenderam dele podem trazer importantes contribuições para a fisioterapia e outras áreas que utilizem o treino como forma de melhorar o desempenho de pacientes com DP.

A primeira e mais importante delas, em nossa opinião, é que pacientes com DP em estágios iniciais de progressão da doença são capazes de melhorar o desempenho por meio do treino em atividades que envolvem diferentes demandas motoras e cognitivas. Considerando que a maioria das atividades de vida diária envolve demandas, não somente motoras mas também cognitivas, para a sua realização bem sucedida, essa é uma importante evidência de que o treinamento em condições que favoreçam a retroalimentação, com grande oferta de pistas visuais e auditivas, além de estímulos motivadores, como proporcionado pelo pacote Wii Fit Plus®, pode modificar o desempenho por longo período de tempo, em pacientes idosos com DP.

A segunda importante contribuição se refere à importância dos critérios adotados para a seleção dos jogos. Como nossos resultados mostraram, as demandas dos jogos interferem na

aprendizagem dos mesmos. Assim, a análise prévia das demandas para então se eleger os jogos mais adequados para cada população, é fundamental para a utilização desses jogos como ferramenta terapêutica. Mesmo estudos prévios, que utilizaram jogos do sistema Wii®, com fins de reabilitação, não deixaram claros os critérios usados para a seleção desses jogos (Saposnik et al, 2010; Joo et al, 2010; Willians et al, 2010; Hurkmans et al, 2011; Kwok et al, 2011; Bateni, 2011). Portanto, parece importante que esse aspecto receba maior atenção.

A terceira e última contribuição é a de que é necessário buscar outras formas de treinamento para as habilidades para as quais o treino no Wii Fit Plus® não apresentou resultados positivos nos nossos pacientes com DP. Assim, é importante que se busque outras formas de treinamento que estimulem, por exemplo, a tomada de decisão, a divisão de atenção entre tarefas motoras e cognitivas e memória operacional, já que são habilidades importantes para a independência dos pacientes com DP em suas atividades de vida diária.

6 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados deste estudo é possível concluir que a capacidade de aprender e reter o desempenho após treino extensivo em jogos do Nintendo Wii Fit Plus® em pacientes com DP depende grandemente das demandas dos jogos, particularmente das cognitivas. Isso reforça a importância da escolha consciente dos jogos com propósito de reabilitação, sendo esta uma das principais implicações clínicas deste estudo.

Outros estudos são necessários para se verificar a generalização dos ganhos do treino em ambiente virtual para atividades de vida diária, com a finalidade de que esses treinos possam ser, de fato, validados para pacientes com DP em estágios iniciais de evolução.

REFERENCIAS¹

Abbruzzese G, Trompetto C, Marinelli L. The rationale for motor learning in Parkinson's disease. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* 2009; 45, 209–214.

Adams JA. A closed-loop theory of motor learning. *Journal of motor behavior* 1970.

Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, Merians AS: Sensorimotor training in virtual reality: a review. *Neuro Rehabilitation* 2009, 25: 29-44.

Agostino R, Sanes JN, Hallett M. Motor skill learning in Parkinson's disease. *J Neurol Sci.* 1996; 139(2): 218-26

Agostino R, Currà A, Soldati G, Dinapoli L, Chiacchiari L, Modugno N, et al. Prolonged practice is of scarce benefit in improving motor performance in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2004; 19(11): 1285-93.

Akamatsu T, Fukuyama H, Kawamata T. The effects of visual, auditory, and mixed cues on choice reaction in Parkinson's disease. *J Neurol Sci.* 2008; 269(1-2):118-25.

Albani G, Pignatti R, Bertella R, Priano L, Semenza C, Molinari E, et al. Common daily activities in the virtual environment: a preliminary study in parkinsonian patients. *Neurol Sci* 2002; 23: S49–S50.

Albani G, Raspelli S, Carelli L, Morganti F, Weiss PL, Kizony R, et al. Executive functions in a virtual world: a study in Parkinson's disease. *Stud Health Technol Inform.* 2010; 154:92-6.

Albani G, Raspelli S, Carelli L, Priano L, Pignatti R, Morganti F, et al. Sleep dysfunctions influence decision making in undemented Parkinson's disease patients: a study in a virtual supermarket. *Stud Health Technol Inform.* 2011; 163:8-10.

Almeida OP, Almeida SA. Reliability of the Brazilian version of the abbreviated form of Geriatric Depression Scale (GDS) short form. *Arq Neuro-Psiquiatr*. 1999; 57(2-B):421-6.

Almeida QJ, Bhatt H. A Manipulation of Visual Feedback during Gait Training in Parkinson's Disease. *Hindawi Publishing Corporation Parkinson's Disease*. 2011; 2012: 1-7.

Anderson F, Annett M, Bischof WF. Lean on Wii: physical rehabilitation with virtual reality Wii peripherals. *Stud Health Technol Inform*. 2010; 154:229-34.

Andrade LAF, Barbosa ER, Cardoso F, Teive HAG, coordenadores. *Doença de Parkinson: Estratégias atuais de tratamento*. 1a ed. Sao Paulo: Omnifarma; 2010. 304 p.

Arias P, Cudeiro J. Effects of rhythmic sensory stimulation (auditory, visual) on gait in Parkinson's disease patients. *Exp Brain Res*. 2008; 186:589–601.

Arias P, Robles-García V, Sanmartín G, Flores J, Cudeiro J. Virtual reality as a tool for evaluation of repetitive rhythmic movements in the elderly and Parkinson's disease patients. *PLoS One*. 2012;7(1):e30021.

Baker K, Rochester L, Nieuwboer A. The effect of cues on gait variability - Reducing the attention cost of walking in people with Parkinson's disease. *Parkinsonism and Related Disorders* 2008; 14: 314–320.

Barber A, Dashtipour K. Sleep disturbances in Parkinson's disease with emphasis on rapid eye movement sleep behavior disorder. *Int J Neurosci*. 2012; 122(8):407-12.

Barbosa MT, Caramelli P, Maia DP, Cunningham MC, Guerra HL, Lima-Costa MF, et al. Parkinsonism and Parkinson's disease in the elderly: a community-based survey in Brazil (the Bambuí study). *Mov Disord*. 2006; 21(6):800-8.

Batani H. Changes in balance in older adults based on use of physical therapy vs the Wii Fit gaming system: a preliminary study. *Physiotherapy*. 2011; article in press.

Bédard P, Sanes JN. Basal ganglia-dependent processes in recalling learned visual-motor adaptations. *Exp Brain Res*. 2011; 209 (3): 385-93.

Behrman AL, Cauraugh JH, Light KE. Practice as an intervention to improve speeded motor performance and motor learning in Parkinson's disease. *J Neurol Sci*. 2000; 174(2):127-36.

Bodi N, Keri S, Nagy H, Moustafa A, Myers CE, Daw N, et al. Reward-learning and the novelty-seeking personality: a between- and within-subjects study of the effects of dopamine agonists on young Parkinson's patients. *Brain*. 2009; 132: 2385–2395.

Boelen M. The role of rehabilitative modalities and exercise in Parkinson's disease. *Dis Mon*. 2007; 53(5): 259-64.

Brucki S, Nitrini R, Caramelli P, Bertolucci PHF, Okamoto IH. Suggestions for utilization of the mini-mental state examination in Brazil. *Arq Neuropsiquiatr* 2003; 61:777–81.

Buccino G, Gatti R, Giusti MC, Negrotti A, Rossi A, Calzetti S, et al. Action Observation Treatment Improves Autonomy in Daily Activities in Parkinson's Disease Patients: Results from a Pilot Study. *Mov Disord*. 2011; 26(10):1963-4. doi: 10.1002/mds.23745.

Burch D, Sheerin F. Parkinson's disease. *Lancet*. 2005; 365(9459):622-7.

Butler DP, Willett K. Wii-habilitation: is there a role in trauma? *Injury*. 2010; 41(9):883-5.

Cameirao M, Badia S, Oller E, Verschure P. Neurorehabilitation using the virtual reality based Rehabilitation Gaming System: methodology, design, psychometrics, usability and validation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2010; 7: 2-14.

Cameron IG, Pari G, Alahyane N, Brien DC, Coe BC, Stroman PW, et al. Impaired executive function signals in motor brain regions in Parkinson's disease. *Neuroimage*. 2012; 60(2): 1156-70.

Camicioli RM, Wieler M, de Frias CM, Martin WR. Early, untreated Parkinson's disease patients show reaction time variability. *Neurosci Lett*. 2008; 441(1): 77-80.

Campos-Sousa, IS, Campos-Sousa RN, Ataíde Jr, L., Soares MMB, Almeida KJ. Executive dysfunction and motor symptoms in Parkinson's disease. *Arq Neuropsiquiatr*. 2010; 68 (2): 246-251.

Caramelli P, Barbosa MT, Sakurai E, Dos Santos EL, Beato RG, Machado JC, et al. Pietà Study Group. The Pietà study: epidemiological investigation on successful brain aging in Caeté (MG), Brazil. Methods and baseline cohort characteristics. *Arq Neuropsiquiatr*. 2011; 69(4):579-84.

Carbon M, Reetz K, Ghilardi MF, Dhawan V, Eidelberg D: Early Parkinson's disease: longitudinal changes in brain activity during sequence learning. *Neurobiology of Disease* 2010, 37(2): 455-460.

Chastan N, Westby GW, Yelnik J, Bardinet E, Do MC, Agid Y, et al. Effects of nigral stimulation on locomotion and postural stability in patients with Parkinson's disease. *Brain*. 2009; 132(Pt 1):172-84.

Cho C, Kunin M, Kudo K, Osaki Y, Olanow CW, Cohen B, et al. Frequency-Velocity Mismatch: A Fundamental Abnormality in Parkinsonian Gait. *J Neurophysiol*. 2010; 103(3): 1478–1489.

Christiansen CL, Schenkman ML, McFann K, Wolfe P, Kohrt WM. Walking economy in people with Parkinson's disease. *Movement Disorders* 2009; 24, (10):1481–1487.

Clark RA, Bryant AL, Pua Y, McCrory P, Bennell K, Hunt M. Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait Posture* 2010; 31(3): 307–10.

Clark RA, McGough R, Paterson K. Reliability of an inexpensive and portable dynamic weight bearing asymmetry assessment system incorporating dual Nintendo Wii Balance Boards. *Gait Posture*. 2011; 34(2):288-91.

Cohen H, Pourcher E. Intact encoding, impaired consolidation in procedural learning in Parkinson's disease. *Exp Brain Res*. 2007; 179(4): 703-8.

Curra A, Berardelli A, Agostino R, Modugno N, Puorger CC, Accornero N, et al. Performance of sequential arm movements with and without advance knowledge of motor pathways in Parkinson's disease. *Mov Disord* 1997; 12: 646-54.

de Bruin N, Doan JB, Turnbull G, Suchowersky O, Bonfield S, Hu B, et al. Walking with music is a safe and viable tool for gait training in Parkinson's disease: the effect of a 13-week feasibility study on single and dual task walking. *Parkinsons Dis*. 2010; 2010:483530.

de Dreu MJ, van der Wilk AS, Poppe E, Kwakkel G, van Wegen EE. Rehabilitation, exercise therapy and music in patients with Parkinson's disease: a meta-analysis of the effects of music-based movement therapy on walking ability, balance and quality of life. *Parkinsonism Relat Disord*. 2012; 18 Suppl 1: S114-9.

Delazer M, Sinz H, Zamarian L, Stockner H, Seppi K, Wenning GK, et al. Decision making under risk and under ambiguity in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*. 2009; 47(8-9): 1901-8.

Deutsch J, Borbely M, Filler J, Huhn K, Guarrera-Bowlby P. Use of a Low-Cost, Commercially Available Gaming Console (Wii) for Rehabilitation of an Adolescent With Cerebral Palsy. *Physical Therapy*. 2008; 88(10): 1196-207.

Deutsch JE, Brettler A, Smith C, Welsh J, John R, Guarrera-Bowlby P, Kafri M. Nintendo wii sports and wii fit game analysis, validation, and application to stroke rehabilitation. *Top Stroke Rehabil*. 2011; 18(6):701-19.

Dias RS, Sampaio ILA, Taddeo LS. Fisioterapia x wii: A introdução do lúdico no processo de reabilitação de pacientes em tratamento fisioterápico. VIII Simposio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital; Outubro de 2009. Rio de Janeiro, Brasil. Rio de Janeiro: 2009. p. 34-37.

Dougherty J, Kancel A, Ramar C, Meacham C, Derrington S. The effects of a multi-axis balance board intervention program in an elderly population. *Missouri Medicine*. 2011; 108 (2): 128-32.

Doya K. Complementary roles of basal ganglia and cerebellum in learning and motor control. *Curr Opin Neurobiol*. 2000; 10(6):732-9.

Doyon J, Laforce R, Bouchard G, Gaudreau D, Roy J, Poirier M, et al. Role of the striatum, cerebellum and frontal lobes in the automatization of a repeated visuomotor sequence of movements. *Neuropsychologia*. 1998; 36: 625–641.

Doyon J. Motor sequence learning and movement disorders. *Curr Opin Neurol*. 2008; 21: 478–483.

Doyon J, Bellec P, Amsel R, Penhune V, Monchi O, Carrier J, et al. Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behav BrainRes*. 2009; 199(1):61-75.

Esculier JF, Vaudrin J, Bériault P, Gagnon K, Tremblay LE. Home-based balance training programme using Wii Fit with balance board for Parkinsons's disease: a pilot study. *J Rehabil Med*. 2012; 44(2): 144-50.

Espay AJ, Baram Y, Dwivedi AK, Shukla R, Gartner M, Gaines L, et al. At-home training with closed-loop augmented-reality cueing device for improving gait in patients with Parkinson disease. *J Rehabil Res Dev*. 2010; 47: 573-581.

Euteneuer F, Schaefer F, Stuermer R, Boucsein W, Timmermann L, Barbe MT, et al. Dissociation of decision-making under ambiguity and decision-making under risk in patients

with Parkinson's disease: a neuropsychological and psychophysiological study. *Neuropsychologia*. 2009; 47(13): 2882-90.

Fattaposta F, Pierelli F, Traversa G, My F, Mostarda, M, D'Alessio C, et al. Preprogramming and control activity of bimanual self-paced motor task in Parkinson's disease. *Clin. Neurophysiol*. 2000; 111, 873–883.

Fernandez HH. Updates in the medical management of Parkinson disease. *Cleve Clin J Med*. 2012; 79 (1): 28-35.

Fitts PM, Posner MI. *Human Performance*. Belmont: Brooks /Cole 1967.

Fong KNK, Chow KYY, Chan BCH, et al. Usability of a virtual reality environment simulating an automated teller machine for assessing and training persons with acquired brain injury. *Jneuroengrehab*. 2010; 7: 19.

Fok P, Farrell M, McMeeken J. The effect of dividing attention between walking and auxiliary tasks in people with Parkinson's disease. *Hum Mov Sci*. 2012; 31(1): 236-46.

Li F, Harmer P, Fitzgerald K, Eckstrom E, Stock R, Galver J. Tai Chi and Postural Stability in Patients with Parkinson's Disease. *N Engl J Med*. 2012;366:511-9.

Galletly R, Brauer SG. Does the type of concurrent task affect preferred and cued gait in people with Parkinson's disease? *Aust J Physiother*. 2005; 51(3):175-80.

Gil-Gómez JA, Lloréns R, Alcañiz M, Colomer C. Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *J neuroengrehabil*. 2011; 8:30.

Ghilardi MF, Eidelberg D, Silvestri G, Ghez C. The differential effect of PD and normal aging on early explicit sequence learning. *Neurology*. 2003; 60(8):1313-9.

Goodwin VA, Richards SH, Taylor RS, Taylor AH, Campbell JL. The effectiveness of exercise interventions for people with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Mov Disord*. 2008; 23(5):631-40.

Griffin HJ, Greenlaw R, Limousin P, Bhatia K, Quinn NP, Jahanshahi M. The effect of real and virtual visual cues on walking in Parkinson's disease. *J Neurol*. 2011; 9.

Guadagnoli MA, Leis B, Van Gemmert AW, Stelmach GE. The relationship between knowledge of results and motor learning in Parkinsonian patients. *Parkinsonism Relat Disord*. 2002; 9(2): 89-95.

Guadagnoli MA, Lee TD. Challenge point: a framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. *J Mot Behav*. 2004; 36: 212–224.

Gueye L, Viallet F, Legallet E, Trouche E. Effects of advance information given by sensory cues on the duration and precision of a pointing movement in Parkinson's disease. *Dakar Med*. 1998; 43(1):49-53.

Hackney ME, Earhart GM. The effects of a secondary task on forward and backward walking in Parkinson's disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 2011; 24 (1): 97–106, 2009.

Halsband U, Freund HJ. Motor learning. *Curr Opin Neurobiol*. 1993; 3(6):940-9.

Halsband U, Lange RK. Motor learning in man: a review of functional and clinical studies. *J Physiol Paris*. 2006; 99(4-6): 414-24.

Hanna-Pladdy B, Heilman KM. Dopaminergic modulation of the planning phase of skill acquisition in Parkinson's disease. *Neurocase*, 2010; 16 (2): 182–190.

Harrington DL, Castillo GN, Greenberg PA, Song DD, Lessig S. Neurobehavioral mechanisms of temporal processing deficits in Parkinson's disease. *PloSOne*. 2011; 6: 1–13.

Hausdorff, JM. Gait dynamics in Parkinson's disease: Common and distinct behavior among stride length, gait variability, and fractal-like scaling. *Chaos*. 2009; 19: 026113.

Henry FM, Rogers DE. Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly of the American Association for Health, Physical Education, & Recreation*. 1960; 31: 448-458.

Henry FM. Reaction time - movement time correlations. *Perceptual and motor skills*. 1961; 12, 63-66.

Hodges NJ, Franks IM. Modelling coaching practice: the role of instruction and demonstration. *J Sports Sci*. 2002; 20(10):793-811.

Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav* 2005; 8:187–211.

Hurkmans HL, Ribbers GM, Streur-Kranenburg MF, et al. Energy expenditure in chronic stroke patients playing Wii Sports: a pilot study. *Jneuroengrehabil*. 2011; 8: 38.

Ibarretxe-Bilbao N, Junque C, Tolosa E, Marti MJ, Valldeoriola F, Bargallo N, et al. Neuroanatomical correlates of impaired decision-making and facial emotion recognition in early Parkinson's disease. *Eur J Neurosci*. 2009 Sep;30(6):1162-71.

Jacobs JV, Lou JS, Kraakevik JA, Horak FB. The supplementary motor area contributes to the timing of the anticipatory postural adjustment during step initiation in participants with and without Parkinson's disease. *Neuroscience* 2009; 164 (2): 877–885.

Jankovic J, Stacy M. Medical management of levodopa-associated motor complications in patients with Parkinson's disease. *CNS Drugs*. 2007; 21(8):677-92.

Jannetta PJ, Whiting DM, Fletcher LH, Hobbs JK, Brillman J, Quigley M, et al. Parkinson's disease: an inquiry into the etiology and treatment. *Neurol Int*. 2011; 3(2):e7.

Jessop RT, Horowicz C, Dibble LE. Motor learning and Parkinson disease: Refinement of movement velocity and endpoint excursion in limits of stability balance task. *Neurorehabil Neural Repair*. 2006; 20(4):459-67.

Jin L, Wang J, Zhao L, Jin H, Fei G, Zhang Y, et al. Decreased serum ceruloplasmin levels characteristically aggravate nigral iron deposition in Parkinson's disease. *Brain*. 2011; 134(1): 50–58.

Jobges M, Heuschkel G, Pretzel C, Illhardt C, Renner C, Hummelsheim H. Repetitive training of compensatory steps: a therapeutic approach for postural instability in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2004; 75(12):1682-7.

Joo LY, Yin TS, Xu D, Thia E, Chia PF, Kuah CWK, et al. A feasibility study using interactive commercial off-the-shelf computer gaming in upper limb rehabilitation in patients after stroke. *J Rehabil Med*. 2010; 42: 437–441.

Kantak SS, Winstein CJ. Learning-performance distinction and memory processes for motor skills: a focused review and perspective. *Behav Brain Res*. 2012; 228(1): 219-31.

Karni A. The acquisition of perceptual and motor skills: a memory system in the adult human cortex. *Brain Res Cogn Brain Res*. 1996; 5(1-2):39-48.

Kelly SW, Jahanshahi M, Dirnberger G. Learning of ambiguous versus hybrid sequences by patients with Parkinson's disease. *Neuropsychologia*. 2004; 42(10):1350-7.

Keus SH, Munneke M, Nijkrake MJ, Kwakkel G, Bloem BR. Physical therapy in Parkinson's disease: evolution and future challenges. *Mov Disord*. 2009; 24(1): 1-14.

King LA, Horak FB. Delaying mobility disability in people with Parkinson disease using a sensorimotor agility exercise program. *Phys Ther*. 2009; 89: 384-393.

Klinger E, Chemin I, Lebreton S, Marié RM. Virtual action planning in Parkinson's disease: a control study. *Cyberpsychol Behav*. 2006; 9(3):342-7.

Klockgether T. Parkinson's disease: clinical aspects. *Cell Tissue Res*. 2004; 318(1):115-20.

Kobayakawa M, Koyama S, Mimura M, Kawamura M. Decision making in Parkinson's disease: Analysis of behavioral and physiological patterns in the Iowa gambling task. *Mov Disord*. 2008 Mar 15;23(4):547-52.

Koerts J, Van Beilen M, Tucha O, Leenders KL, Brouwer WH. Executive functioning in daily life in Parkinson's disease: initiative, planning and multi-task performance. *PLoS One*. 2011; 6(12): e29254.

Krakauer JW. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Curr Opin Neurol*. 2006; 19: 84–90.

Kudlicka A, Clare L, Hindle JV. Executive functions in Parkinson's disease: systematic review and meta-analysis. *Mov Disord*. 2011; 26(13):2305-15.

Kwak Y, Muller M L, Bohnen N I, Dayalu P, Seidler R D. Effect of dopaminergic medications on the time course of explicit motor sequence learning in Parkinson's disease. *J. Neurophysiol*. 2010; 103, 942–949.

Kwakkel G, de Goede CJ, van Wegen EE. Impact of physical therapy for Parkinson's disease: a critical review of the literature. *Parkinsonism Relat Disord*. 2007; 13 Suppl 3:S478-87.

Kwok BC, Mamun K, Chandran M, Wong CH. Evaluation of the Frails' Fall Efficacy by Comparing Treatments (EFFECT) on reducing fall and fear of fall in moderately frail older adults: study protocol for a randomised control trial. *Trials*. 2011; 12:155.

Labudda K, Brand M, Mertens M, Ollech I, Markowitsch HJ, Woermann FG. Decision making under risk condition in patients with Parkinson's disease: a behavioural and fMRI study. *Behav Neurol*. 2010;23(3):131-43.

Labutta RJ, Miles RB, Sanes JN, Hallett M. Motor program memory storage in Parkinson's disease patients tested with a delayed response task. *Mov Disord*. 1994; 9(2): 218-22.

Landers M, Wulf G, Wallmann H, Guadagnoli MA. An external focus of attention attenuates balance impairment in Parkinson's disease, *Physiotherapy* 2005; 91: 152–185.

Lange B, Flynn S, Proffitt R, Chang CY, Rizzo AS. Development of an interactive game-based rehabilitation tool for dynamic balance training. *Top Stroke Rehabil.* 2010; 17(5):345-52.

Lebold CA, Almeida QJ. Evaluating the contributions of dynamic flow to freezing of gait in Parkinson's disease. *Parkinsons Dis.* 2010; 2010:732508.

Lee EY, Cowan N, Vogel EK, Rolan T, Valle-Inclán F, Hackley SA. Visual working memory deficits in patients with Parkinson's disease are due to both reduced storage capacity and impaired ability to filter out irrelevant information. *Brain.* 2010; 133(9):2677-89. (b)

Lee SJ, Yoo JY, Ryu JS, Park HK, Chung SJ. The effects of visual and auditory cues on freezing of gait in patients with Parkinson disease. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012; 91(1):2-11. doi: 10.1097/PHM.0b013e31823c7507.

Leh SE, Petrides M, Strafella AP. The neural circuitry of executive functions in healthy subjects and Parkinson's disease. *Neuropsychopharmacology* 2010; 35: 70–85.

Lehéricy S, Benali H, Van de Moortele PF, Pélégriani-Issac M, Waechter T, Ugurbil K, Doyon J. Distinct basal ganglia territories are engaged in early and advanced motor sequence learning. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2005; 102(35): 12566-71.

Levin M. Can virtual reality offer enriched environments for rehabilitation? *Expert Review of Neurotherapeutics.* 2011; 11(2):153-5.

Lewek MD, Poole R, Johnson J, Halawa O, Huang X. Arm swing magnitude and asymmetry during gait in the early stages of Parkinson's disease. *Gait Posture* 2010; 31 (2): 256–260.

Lin CH, Sullivan KJ, Wu AD, Kantak S, Winstein CJ. Effect of task practice order on motor skill learning in adults with Parkinson disease: a pilot study. *Phys Ther.* 2007;87(9):1120-31.

Luessi F, Mueller LK, Breimhorst M, Vogt T. Influence of visual cues on gait in Parkinson's disease during treadmill walking at multiple velocities. *J Neurol Sci.* 2012; 314(1-2):78-82.

Lyons KE, Pahwa R. Diagnosis and initiation of treatment in Parkinson's disease. *Int J Neurosci.* 2011;121 Suppl 2:27-36.

Lyons MK. Deep brain stimulation: current and future clinical applications. *Mayo Clin Proc.* 2011; 86(7): 662-72.

Ma H, Hwang W, Lin K. The effects of two different auditory stimuli on functional arm movement in persons with Parkinson's disease: a dual-task paradigm. *Clinical Rehabilitation* 2009; 23: 229–237.

Magill, R A. *Aprendizagem motora: conceitos e aplicações.* São Paulo: Edgard Blücler; 2000. 369 p.

Marinelli L, Perfetti B, Moisello C, Di Rocco A, Eidelberg D, Abbruzzese G, et al. Increased reaction time predicts visual learning deficits in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2010; 25(10): 1498-501.

Marchese R, Bove M, Abbruzzese G. Effect of cognitive and motor tasks on postural stability in Parkinson's disease: a posturographic study. *Mov Disord.* 2003; 18(6):652-8

Meldrum D, Herdman S, Moloney R, Murray D, Duffy D, Malone K, et al. Effectiveness of conventional versus virtual reality based vestibular rehabilitation in the treatment of dizziness, gait and balance impairment in adults with unilateral peripheral vestibular loss: a randomised controlled trial. *BMC Ear Nose Throat Disord.* 2012; 12(1):3.

Messier J, Adamovich S, Jack D, Hening W, Sage J, Poizner H. Visuomotor learning in immersive 3D virtual reality in Parkinson's disease and in aging. *Exp Brain Res.* 2007; 179(3): 457-74.

Michel J, Benninger D, Dietz V, Van Hedel HJA. Obstacle stepping in patients with Parkinson's disease: Complexity does influence performance. *J Neurol.* 2009; 256: 457–463.

Mimura M, Oeda R, Kawamura M. Impaired decision-making in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2006; 12(3):169-75.

Mirelman A, Maidan I, Herman T, Deutsch JE, Giladi N, Hausdorff JM. Virtual reality for gait training: can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson's disease? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2011; 66(2):234-40.

Mochizuki-Kawai H, Mochizuki S, Kawamura M. A flexible sequential learning deficit in patients with Parkinson's disease: a 2 x 8 button-press task. *Exp Brain Res*. 2010; 202(1): 147-53.

Morris ME, Iansek R, Galna BA. Gait festination and freezing in Parkinson's disease: Pathogenesis and rehabilitation. *Movement Disorders* 2008; 23, Issue Supplement S2, S451–S460.

Muslimovic D, Post B, Speelman JD, Schmand B. Motor procedural learning in Parkinson's disease. *Brain* 2007; 130:2887–2897.

Nieuwboer A. Cueing for freezing of gait in patients with Parkinson's disease: a rehabilitation perspective. *Mov Disord*. 2008; 23 (2): 475–481.

Nieuwboer A, Rochester L, Müncks L, Swinnen SP. Motor learning in Parkinson's disease: limitations and potential for rehabilitation. *Parkinsonism Relat Disord*. 2009; 15 Suppl 3:S53-8.

Nutt JG, Lea ES, Van Houten L, et al. Determinants of tapping speed in normal control subjects and subjects with Parkinson's disease: differing effects of brief and continued practice. *Mov Disord*. 2000; 15: 843–9.

Obeso JA, Rodríguez-Oroz MC, Rodríguez M, Lanciego JL, Artieda J, Gonzalo N, et al. Pathophysiology of the basal ganglia in Parkinson's disease. *Trends Neurosci*. 2000; 23(10 Suppl): S8-19.

Onla-or S, Winstein CJ. Determining the optimal challenge point for motor skill learning in adults with moderately severe Parkinson's disease. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008; 22(4): 385-95.

Pagonabarraga J, García-Sánchez C, Llebaria G, Pascual-Sedano B, Gironell A, Kulisevsky J. Controlled study of decision-making and cognitive impairment in Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2007; 22(10):1430-5.

Pahwa R, Lyons KE. Early diagnosis of Parkinson's disease: recommendations from diagnostic clinical guidelines. *Am J Manag Care*. 2010; 16 Suppl Implications: S94-9.

Park HS, Yoon JW, Kim J, Iseki K, Hallett M. Development of a VR-based treadmill control interface for gait assessment of patients with Parkinson's disease. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*. 2011; 2011:5975463.

Pavão R, Helene AF, Xavier GF. Parkinson's disease progression: implicit acquisition, cognitive and motor impairments, and medication effects. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. No prelo 2012.

Pearce JM. Aspects of the history of Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1989; Suppl: 6-10.

Pelosin E, Avanzino L, Bove M, Stramesi P, Nieuwboer A, Abbruzzese G. Action Observation Improves Freezing of Gait in Patients With Parkinson's Disease. *Neurorehabil Neural Repair* 2010; 24: 746.

Pendt LK, Reuter I, Muller H. Motor Skill Learning, Retention, and Control Deficits in Parkinson's Disease. *PLoS ONE*. 2011; 6(7): e21669.

Perretta JG, Pari G, Beninger RJ. Effects of Parkinson disease on two putative nondeclarative learning tasks: probabilistic classification and gambling. *Cogn Behav Neurol*. 2005; 18(4):185-92.

Perfetti B, Moisello C, Lanzafame S, Varanese S, Landsness E, Onofrj M, et al. Attention modulation regulates both motor and non-motor performance: a high-density EEG study in Parkinson's disease. *Arch. Ital. Biol.* 2010; 148(3): 279–288.

Pires, SCC. A influência do exercício terapêutico nos ajustes posturais antecipatórios dos doentes de Parkinson. [Dissertação]. Porto: FADE-UP; 2006.

Possin KL, Filoteo JV, Song DD, Salmon DP. Spatial and object working memory deficits in Parkinson's disease are due to impairment in different underlying processes. *Neuropsychology.* 2008; 22(5):585-95.

Price A, Shin JC. The impact of Parkinson's disease on sequence learning: perceptual pattern learning and executive function. *Brain Cogn.* 2009; 69(2):252-61.

Riva G. Virtual reality for health care: the status of research. *Cyberpsychology & Behavior* 2002; 5 (3).

Rochester L, Hetherington V, Jones D, Nieuwboer A, Willems AM, Kwakkel G, et al. Attending to the task: interference effects of functional tasks on walking in Parkinson's disease and the roles of cognition, depression, fatigue, and balance. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004; 85(10):1578-85.

Rochester, L; Nieuwboer, A, Baker, K, Hetherington V, Willems AM, Chavret F, et al. The attentional cost of external rhythmical cues and their impact on gait in Parkinson's disease: effect of cue modality and task complexity. *J Neural Transm.* 2007; 114: 1243–1248.

Rochester L, Burn D J, Woods G, Godwin J, Nieuwboer A. Does auditory rhythmical cueing improve gait in people with Parkinson's disease and cognitive impairment? A Feasibility study. *Mov Disord.* 2009; 24, 839–845.

Rochester L, Baker K, Hetherington V, Jones D, Willems AM, Kwakkel G, et al. Evidence for motor learning in Parkinson's disease: acquisition, automaticity and retention of cued gait performance after training with external rhythmical cues. *Brain Res.* 2010; 1319:103-11.

Rodriguez-Oroz MC, Jahanshahi M, Krack P, Litvan I, Macias R, Bezard E, et al. Initial clinical manifestations of Parkinson's disease: features and pathophysiological mechanisms. *Lancet Neurol.* 2009; 8: 1128–39.

Roiz RM, Azevedo EW, Cliquet A, Barasnevicius M. Analysis of parallel and transverse visual cues on the gait of individuals with idiopathic Parkinson's disease. *Int J Rehabil Res.* 2011; 34(4): 343-8.

Rostami HR, Ashayeri H. Effects of motor skill practice on reaction time and learning retention in Parkinson's disease. *Neurol India.* 2009; 57(6):768-71.

Rothwell JC. The motor functions of the basal ganglia. *J Integr Neurosci.* 2011; 10(3):303-15.

Rutledge RB, Lazzaro SC, Lau B, Myers CE, Gluck MA, Glimcher PW. Dopaminergic drugs modulate learning rates and perseveration in Parkinson's patients in a dynamic foraging task. *J Neurosci.* 2009; 29: 15104-14.

Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, et al. Effectiveness of Virtual Reality Using Wii Gaming Technology in Stroke Rehabilitation: A Pilot Randomized Clinical Trial and Proof of Principle. *Stroke.* 2010; 41: 1477-1484.

Sarazin M, Deweer B, Merkl A, Von Poser N, Pillon B, Dubois B. Procedural learning and striatofrontal dysfunction in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2002; 17(2):265-73.

Satoh M, Kuzuhara S. Training in mental singing while walking improves gait disturbance in Parkinson's disease patients. *Eur Neurol.* 2008; 60(5): 237-43.

Schapira AHV, Gegg M. Mitochondrial contribution to Parkinson's disease pathogenesis. *Parkinsons Dis.* 2011; 2011: 159–160.

Schenkman M, Hall DA, Baron AE, Schwartz RS, Mettler P, Kohrt WM. Exercise for People in Early- or Mid-Stage Parkinson Disease: A 16-Month Randomized Controlled Trial. *Phys Ther.* 2012 Jul 19. [Epub ahead of print]

Schmidt, R A, Wrisberg C A. Aprendizagem e performance motora: uma abordagem da aprendizagem baseada no problema. 2. ed. PortoAlegre: Artmed; 2001. 352 p.

Seidler RD, Tuite P, Ashe J. Selective impairments in implicit learning in Parkinson's disease. *Brain Res.* 2007; 1137 (1): 104-10.

Seo M, Beigi M, Jahanshahi M, Averbeck BB. Effects of dopamine medication on sequence learning with stochastic feedback in Parkinson's disease. *Frontiers in Human Neuroscience.* 2010; 4 (36): 1-9.

Shih CH; Shih CT; Chu CL. Assisting people with multiple disabilities actively correct abnormal standing posture with a Nintendo Wii balance board through controlling environmental stimulation. **Res Dev Disabil. 2010; 31 (4): 936-42. (a)**

Shih CH, Shih CT, Chiang MS. A new standing posture detector to enable people with multiple disabilities to control environmental stimulation by changing their standing posture through a commercial Wii Balance Board. *Res Dev Disabil.* 2010; 31(1):281-6. (b)

Schlick C, Struppler A, Boetzel K, Plate A, Ilmberger J. Dynamic visual cueing in combination with treadmill training for gait rehabilitation in Parkinson disease. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012; 91(1):75-9.

Shmuelof L, Krakauer JW. Are we ready for a natural history of motor learning? *Neuron.* 2011; 72(3):469-76.

Sidaway B, Anderson J, Danielson G, Martin L, Smith G. Effects of long-term gait training using visual cues in an individual with Parkinson disease. *Phys Ther.* 2006; 86(2):186-94.

Smania N, Corato E, Tinazzi M, Stanzani C, Fiaschi A, Girardi P, Gandolfi M. Effect of balance training on postural instability in patients with idiopathic Parkinson's disease. *Neurorehabil Neural Repair.* 2010; 24(9): 826-34.

Smiley-Oyen AL, Lowry KA, Emerson QR. Learning and retention of movement sequences in Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2006; 21(8): 1078-87.

Solís-Vivanco R, Ricardo-Garcell J, Rodríguez-Camacho M, Prado-Alcalá RA, Rodríguez U, Rodríguez-Violante M, et al. Involuntary attention impairment in early Parkinson's disease: an event-related potential study. *Neurosci Lett*. 2011; 495(2): 144-9.

Song S. Consciousness and the consolidation of motor learning. *Behav Brain Res*. 2009; 196(2): 180-6.

Spencer CC, Plagnol V, Strange A, Gardner M, Paisan-Ruiz C, et al. Dissection of the genetics of Parkinson's disease identifies an additional association 5' of SNCA and multiple associated haplotypes at 17q21. *Hum Mol Genet*. 2011; 20: 345–353.

Stack E, Ashburn A, Jupp K. Postural instability during reaching tasks in Parkinson's disease. *Physiother Res Int*. 2005; 10(3): 146-53.

Stephan MA, Meier B, Zaugg SW, Kaelin-Lang A. Motor sequence learning performance in Parkinson's disease patients depends on the stage of disease. *Brain Cogn*. 2011; 75(2): 135-40.

Stevenson JK, Oishi MM, Farajian S, Cretu E, Ty E, McKeown MJ. Response to sensory uncertainty in Parkinson's disease: a marker of cerebellar dysfunction? *Eur J Neurosci*. 2011; 33(2): 298-305. doi: 10.1111/j.1460-9568.2010.07501.x.

Suarez H, Geisinger D, Suarez A, Carrera X, Buzo R, Amorin I. Postural control and sensory perception in patients with Parkinson's disease. *Acta oto-laryngologica*, 2009; 129: 354-360.

Synnott J, Chen L, Nugent CD, Moore G. Wii PD- an approach for the objective home assessment of Parkinson's disease. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2011; 2011: 2388-91.

Termoz N, Halliday SE, Winter DA, Frank JS, Patla AE, Prince F. The control of upright stance in young, elderly and persons with Parkinson's disease. *Gait Posture*. 2008; 27(3):463-70.

Tickle-Degnen L, Ellis T, Saint-Hilaire MH, Thomas CA, Wagenaar RC. Self-management rehabilitation and health-related quality of life in Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *Mov Disord*. 2010; 25(2):194-204.

Timmermann, L; Fink, GR. Pathological network activity in Parkinson's disease: from neural activity and connectivity to causality? *Brain*. 2011; 134: 330–334.

Tomlinson CL, Patel S, Meek C, Clarke CE, Stowe R, Shah L. Physiotherapy versus placebo or no intervention in Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012 Jul 11;7:CD002817.

Turner RS, Desmurget M. Basal ganglia contributions to motor control: a vigorous tutor. *Curr Opin Neurobiol*. 2010; 20(6):704-16.

van Asselen M, Almeida I, Andre R, Januário C, Gonçalves AF, Castelo-Branco M. The role of the basal ganglia in implicit contextual learning: a study of Parkinson's disease. *Neuropsychologia*. 2009;47(5):1269-73.

Vandenbossche J, Deroost N, Soetens E, Kerckhofs E. Does implicit learning in non-demented Parkinson's disease depend on the level of cognitive functioning? *Brain Cogn*. 2009; 69(1): 194-9.

Verschueren SM, Swinnen SP, Dom R, De Weerd W. Interlimb coordination in patients with Parkinson's disease: motor learning deficits and the importance of augmented information feedback. *Exp Brain Res*. 1997; 113(3): 497-508.

Voges J, Koulousakis A, Sturm V. Deep brain stimulation for Parkinson's disease. *Acta Neurochir Suppl*. 2007; 97(Pt 2):171-84.

Wakeman DR, Dodiya HB, Kordower JH. Cell transplantation and gene therapy in Parkinson's disease. *Mt Sinai J Med*. 2011; 78(1): 126-158.

Wang XP, Sun BM, Ding HL. Changes of procedural learning in Chinese patients with non-demented Parkinson disease. *Neurosci Lett*. 2009; 449(3): 161-3.

Waterston JA, Hawken MB, Tanyeri S, Jäntti P, Kennard C. Influence of sensory manipulation on postural control in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1993; 56(12): 1276-81.

Weiner WJ. There is no Parkinson disease. *Arch Neurol*. 2008; 65(6): 705-8.

Williams MA, Soiza RL, Jenkinson AM, Stewart A. Exercising with Computers in Later Life (EXCELL) - pilot and feasibility study of the acceptability of the Nintendo® Wii Fit in community-dwelling fallers. *BMC Research Notes*. 2010; 3: 238.

Wirdefeldt K, Adami HO, Cole P, Trichopoulos D, Mandel J. Epidemiology and etiology of Parkinson's disease: a review of the evidence. *Eur J Epidemiol*. 2011; 26 Suppl 1:S1-58.

Wu T, Hallett M. Neural correlates of dual task performance in patients with Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2008; 79:760–6.

Wulf G, Shea C, Lewthwaite R. Motor skill learning and performance: a review of influential factors. *Med Educ*. 2010; 44(1): 75-84.

Wylie SA, Ridderinkhof KR, Bashore TR, van den Wildenberg WPM. The effect of Parkinson's disease on the dynamics of online and proactive cognitive control during action selection. *J Cogn Neurosci*. 2010; 22: 2058–2073.

Yamada M, Aoyama T, Nakamura M, Tanaka B, Nagai K, Tatematsu N, et al. The reliability and preliminary validity of game-based fall risk assessment in community-dwelling older adults. *Geriatr Nurs*. 2011; 32(3):188-94.

Yang Y, Tsai M, Chuang T, Sung W, Wang R. Virtual reality-based training improves community ambulation in individuals with stroke: a randomized controlled trial. *Gait Posture* 2008; 28(2): 201–6.

Yen CY, Lin KH, Wu RM, Lu TW, Lin CH. Effects of Virtual Reality–Augmented Balance Training on Sensory Organization and Attentional Demand for Postural Control in People

With Parkinson Disease: A Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy* 2011; 91 (6): 875-877.

Yogev G, Giladi N, Peretz C, Springer S, Simon ES, Hausdorff JM. Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: which aspects of gait are attention demanding? *Eur J Neurosci.* 2005; 22: 1248–1256.

Yogev G, Plotnik M, Peretz C, Giladi N, Hausdorff JM. Gait asymmetry in patients with Parkinson's disease and elderly fallers: when does the bilateral coordination of gait require attention? *Exp Brain Res.* 2007; 177(3): 336-46.

Yogev G, Hausdorff JM, Giladi N. The Role of Executive Function and Attention in Gait. *Mov Disord.* 2008; 23(3): 329–472.

Young W, Ferguson S, Brault S, Craig C. Assessing and training standing balance in older adults: A novel approach using the 'Nintendo Wii' Balance Board. *Gait & Posture.* 2011; 33: 303–305.

Zhang W, Phillips K, Wielgus AR, et al. Neuromelanin activates microglia and induces degeneration of dopaminergic neurons: implications for progression of Parkinson's disease. *Neurotoxicity Research.* 2011; 19 (1): 63–72.

Zhou S, Chen X, Wang C, Yin C, Hu P, Wang K. Selective attention deficits in early and moderate stage Parkinson's disease. *Neurosci Lett.* 2012; 509(1):50-5.

¹de acordo com o estilo Vancouver

ANEXOS

ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Eu,.....portador (a)
do RG:.....
Residente:.....
..... do telefone:.....
Responsável Legal:.....,.....portador (a)
do RG:.....,
Residente:.....
.....do telefone:.....

Concordo em participar do projeto de pesquisa “Aprendizado motor após treinamento baseado em realidade virtual na Doença de Parkinson: efeitos das demandas motoras e cognitivas dos jogos”, que tem como objetivo verificar os efeitos da utilização de 10 jogos do vídeo game Nintendo Wii Fit Plus® sobre a aprendizagem de indivíduos parkinsonianos e idosos saudáveis e verificar quais são as influências das exigências de cada jogo sobre essa aprendizagem.

Estou ciente de que posso correr os riscos de quedas, tonturas e de que não tenha melhora significativa quanto ao tratamento. Porém posso obter benefícios no equilíbrio e na forma de caminhar.

O pesquisador terá a obrigação de conceder a qualquer momento informações sobre os procedimentos. Terei liberdade de recusar ou retirar o consentimento a qualquer momento sem nenhum prejuízo ou perda de qualquer benefício, tenho a garantia de sigilo, privacidade e direito de esclarecer todas as dúvidas sempre que desejar. Terei acesso a todos os resultados e possíveis benefícios, riscos e desconfortos relacionados à pesquisa. Estou ciente de que serão formados dois grupos e de que estarei fazendo parte de um deles.

Eu e meu representante legal afirmamos que fomos, convenientemente, esclarecidos pelo pesquisador e que entendemos o que nos foi explicado, de modo que concordamos em participar da pesquisa.

Pesquisadores:

Felipe Augusto dos Santos Mendes - Graduado pela Universidade de São Paulo- (1995), Aprimorando em Fisioterapia em Neurologia (HCMFUSP) e Doutorando em Neurociências e Comportamento.

José Eduardo Pompeu- Graduado pela Universidade de São Paulo- (1995), Aprimorando em Fisioterapia em Neurologia (HCMFUSP), Mestre Neurociências e Comportamento pela Universidade de São Paulo (2003) e Doutorando em Neurociências e Comportamento.

Orientadora: Profa Dra Maria Elisa Pimentel Piemonte

Profa do Curso de Fisioterapia da Universidade de São Paulo

CoEP

Rua Raul Pompéia, 144

Bloco A- Térreo- Sala do CoEP

Telefone: (11) 3861-3469

São Paulo,, de..... de.....

Assinatura do paciente:.....

Assinaturas dos pesquisadores:.....

ANEXO B - CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO PARA APRECIÇÃO ÉTICA

Andamento do projeto - CAAE - 0166.0.166.000-08

Título do Projeto de Pesquisa
 Utilização de videogame como recurso terapêutico para o treinamento de equilíbrio de indivíduos parkinsonianos

Situação	Data Inicial no CEP	Data Final no CEP	Data Inicial na CONEP	Data Final na CONEP
Aprovado c/ Recomendação no CEP	11/11/2008 16:08:10	13/01/2009 17:29:48		

Descrição	Data	Documento	Nº do Doc	Origem
3 - Envio do Protocolo Aprovado c/ Rec. para CONEP	13/01/2009 17:29:48	Folha de Rosto	229/08	CONEP
4 - Aguardando Protocolo chegar na CONEP	13/01/2009 17:29:48	Folha de Rosto	229/08	CONEP
2 - Recebimento de Protocolo pelo CEP (Check-List)	11/11/2008 16:08:10	Folha de Rosto	0166.0.166.000-08	CEP
1 - Envio da Folha de Rosto pela Internet	23/10/2008 15:33:13	Folha de Rosto	FR226511	Pesquisador

Voltar

ANEXO C – SEQUÊNCIAS DE EXERCÍCIOS DE AQUECIMENTO

Sequência 1 - Mobilidade de Tronco		
Cervical		Repetições/Tempo
5 (para cada lado)
Tronco Inferior
(5 para cada lado)
Tronco Superior
5 (para cada lado)
Pelve
10
Membros Inferiores		
Dorsiflexão
10 -Utilizar uma rampa de madeira

Tríplice Flexão
10 (de cada lado)

Sequência 2 - Mobilidade de Tronco	
Cervical	Repetições/Tempo
Manter a posição durante o tempo necessário para realizar 5 respirações profundas
Tronco Superior
5 para cada lado
Tronco Inferior
15
Pelve
15
Dorsi/Plantiflexão
15 (de cada lado)
Tríplice Flexão

<p>15 (de cada lado)</p> <p>-Utilizar uma bola maior ou um feijão</p>
---	--

Sequência 3 - Mobilidade de Tronco	
Cervical	Repetições/Tempo
Movimentos rotacionais	10 (cada lado)
Tronco Superior
15 (de cada lado)
Tronco Inferior
15
Pelve
15
Membros Superiores	
Dorsi/Plantiflexão
15 (de cada lado)
Tríplice Flexão
15 -Utilizar uma bola menor

Sequência 4 - Mobilidade de Tronco	
Cervical	Repetições/Tempo
Olhar para direita esquerda / baixo e cima	10 (cada lado) 10 (cima e baixo)
Tronco Superior
15
Tronco Inferior
15
Pelve / Tríplice Flexão	
Com os pés apoiados na bola, puxá-la para o corpo encostando os joelhos no peito. Ao voltar, apoiar os pés na bola e realizar a ponte (Com ajuda do terapeuta se necessário)	15