



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EPIDEMIOLOGIA



TESE DE DOUTORADO

CALIBRAÇÃO E APLICAÇÃO DE LIMIARES DE INTENSIDADE PARA CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADE FÍSICA EM ADULTOS

Márcio de Almeida Mendes

Pelotas – RS, 2018

MÁRCIO DE ALMEIDA MENDES

**CALIBRAÇÃO E APLICAÇÃO DE LIMIARES DE INTENSIDADE
PARA CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADE FÍSICA EM ADULTOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em ciências (área do conhecimento: Epidemiologia).

Orientadora: Elaine Tomasi

Coorientadores: Felipe Reichert e Inácio da Silva

Pelotas – RS, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M538c Mendes, Márcio de Almeida

Calibração e aplicação de limiares de intensidade para classificação de atividade física em adultos / Márcio de Almeida Mendes ; Elaine Tomasi, orientadora ; Felipe Reichert, Inácio da Silva, coorientadores. — Pelotas, 2018.

135 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia, Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Epidemiologia. 2. Atividade física. 3. Acelerometria. 4. Estudo de calibração. 5. Dados brutos de acelerômetros. I. Tomasi, Elaine, orient. II. Reichert, Felipe, coorient. III. Silva, Inácio da, coorient. IV. Título.

CDD : 614.4

MÁRCIO DE ALMEIDA MENDES

**CALIBRAÇÃO E APLICAÇÃO DE LIMIARES DE INTENSIDADE
PARA CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADE FÍSICA EM ADULTOS**

Banca examinadora

Professor Dr. Elaine Tomasi (presidente)

Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia, Universidade Federal de Pelotas

Professor Dr. Airton José Rombaldi (examinador)

Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal de Pelotas

Professor Dr. Fernando Wehrmeister (examinador)

Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia, Universidade Federal de Pelotas

Professor Dr. Jeffer Sasaki (examinador)

Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal do Triângulo Mineiro

"Buscai em primeiro lugar o Reino de Deus e a sua justiça e todas as coisas vos serão dadas em acréscimo."

Mt 6, 33

AGRADECIMENTOS

Esta seção de agradecimentos da tese está sendo a última a ser escrita. Ansiei muito por este momento, e quero agradecer primeiramente a Deus. Um Deus que me inspira e capacita para grandes desafios e para voos cada vez mais altos. Ele se manifesta de diversas formas em minha vida e em alguns destes momentos tive a graça e sensibilidade necessária para escutá-lo. Não por coincidência, em dois trechos difíceis deste caminho me deparei com uma música que em parte dizia: “Quando o meu sonho vi desmoronar; Me trouxeste outros pra recomeçar; Quando eu me esqueci que eu era alguém na vida; Teu amor veio me lembrar; Que Deus me ama, que não estou só; Que Deus cuida de mim; Quando fala pela tua voz; Que me diz: coragem”. Até hoje me emociono ao escutá-la, pois presunçosamente parece que foi tocada especialmente para mim em meio aqueles momentos de dificuldade. Hoje percebo com clareza que de fato era o meu melhor amigo, Jesus Cristo, falando comigo e estendendo o seu braço forte para me levantar.

Quero agradecer com todo meu coração a minha família, ao meu pai Antônio, à minha mãe Sueli e ao meu irmão Maicon. Estas pessoas que sempre me suportaram, no sentido de terem me dado todo o suporte para que eu pudesse me tornar o homem que hoje sou e alcançar as conquistas que alcancei. Obrigado por todo o amor, pelo carinho e pelos valores que me passaram. Vocês foram e são para mim admiráveis exemplos de homens e mulher.

Externo também minha gratidão e carinho aos meus amigos dos grupos de perseverança na fé Mateus 7 e Sagrados Corações, e também a dois amigos externos a estes grupos, Iago e Adriana Bettina, por terem sido durante esse período “o ferro que afia o ferro”.

Deixo um obrigado que vai além da relação profissional aos meus companheiros de trabalho, mas sobretudo amigos, Inácio, Virgílio, Christian, Rodrigo, Rafaela e Felipe.

Agradeço a minha orientadora Elaine Tomasi, que mesmo diante de todos os imprevistos e desafios que enfrentamos, sempre me dedicou toda a sua confiança e apoio. Deixo à amiga Elaine minha imensurável gratidão pela amizade que construímos e por tudo aquilo que me ensinou até aqui.

Deixando de lado qualquer formalidade, dedico um agradecimento especial a minha amiga, minha namorada, ao meu amor Jéssica, que mesmo participando apenas da reta final de meu doutorado, foi fundamental, pois me fez e faz em meio ao ordinário da vida perceber o extraordinário das coisas simples, me enchendo de amor e de vida.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que se dispuseram a participar das pesquisas que deram origem aos artigos desta tese. Quero agradecer também a todos os brasileiros por terem financiado meus estudos, permitindo que, além dos títulos de graduação e mestrado, o sonho de realizar um doutorado tenha se concretizado.

RESUMO

Mendes, Márcio de Almeida. Calibração e aplicação de limiares de intensidade para classificação de atividade física em adultos. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia. Universidade Federal de Pelotas (UFPel); 2018.

Os acelerômetros (dispositivos portáteis que medem a aceleração dos movimentos corporais em um, dois ou três eixos - vertical, medio-lateral e antero-posterior) representam uma alternativa mais viável em termos logísticos e econômicos quando comparados a outros instrumentos de medida objetiva de atividade física como calorimetria indireta ou água duplamente marcada. Além disso, em relação a instrumentos de medida subjetiva como os questionários de atividade física – instrumento de medida mais utilizado em estudos de base populacional – os acelerômetros fornecem medidas mais fidedignas do tempo gasto com atividades físicas. No entanto, embora os acelerômetros apresentem vantagens, ao mesmo tempo configuram-se como um instrumento de medida relativamente novo e, em consequência disto, passível ainda de aprimoramentos, principalmente no que diz respeito à interpretação das informações fornecidas. Neste contexto, o primeiro artigo da tese apresentou uma revisão sistemática da literatura sobre os métodos e resultados encontrados em estudos de calibração de acelerometria usando sinal bruto de aceleração para medir atividade física. Foi possível observar que os estudos de calibração em acelerometria utilizando dados brutos são incipientes e possuem diferentes processos de filtragem dos dados. Procedimentos padronizados de filtragem dos dados são necessários para aumentar a comparabilidade entre os diferentes estudos de calibração em acelerometria. O segundo artigo avaliou parâmetros de validade (sensibilidade, especificidade e acurácia) de diferentes limiares de intensidade absoluta em METs, assumindo como medida critério categorias de intensidade relativa com base no percentual de consumo máximo de oxigênio. Os resultados deste estudo mostraram que os limiares de intensidade de atividade física gerados nas análises foram maiores e apresentaram maior especificidade quando comparados aos limiares presentes nas atuais recomendações de atividade física. Além disso, os limiares originados apresentaram

uma precisão relativamente alta, inclusive quando aplicados especificamente a grupos de sexo, idade, estado nutricional e aptidão física. Por fim, no último artigo foram elaboradas diferentes propostas de pontos de corte para classificar intensidades de atividade física por meio de acelerometria, adotando diferentes medidas critério. Neste artigo também foi apresentada a comparação entre as estimativas de atividade física moderada à vigorosa conforme as diferentes propostas de pontos de corte elaboradas no estudo. Os resultados deste estudo permitiram identificar que a escolha da medida critério no processo analítico de calibração em acelerometria exerce importante influência nos limiares de intensidade identificados e conseqüentemente nas estimativas de atividade física.

ABSTRACT

Mendes, Márcio de Almeida. Calibration and application of intensity thresholds to measure physical activities in adults. Thesis (Doctoral Thesis). Postgraduate Program in Epidemiology. Federal University of Pelotas; 2018.

Accelerometers (motion sensors that measure the acceleration of body movements in one, two or three axes - vertical, horizontal right-left and horizontal front-back axis) represent a simpler and cheaper alternative when compared to other objective measurement instruments of physical activity like calorimetry Indirect or double-marked water. Furthermore, regarding to subjective measurement instruments like physical activity questionnaires - a measurement instrument most used in population-based studies - accelerometers provide more reliable measures of time spent on physical activities. However, although accelerometers have advantages, these measuring instruments are relatively new and, as a consequence, possible to be improved mainly in relation to the interpretation of the information provided. Taking into account this background, the first paper of the thesis presented a systematic review of the literature about the methods and results found in accelerometry calibration studies using raw acceleration signal to measure physical activity. It was possible to observe that the calibration studies on raw data accelerometry might be considered incipient and mostly are based on different metrics. However, promising validity parameters on physical activity intensities were identified. Standardized procedures are necessary to increase the comparability among studies using different accelerometers brands. The second article evaluated valid parameters of different absolute intensity thresholds in METs, assuming as a criterion measure relative intensities based on the percentage of the maximum oxygen uptake (VO_2max) among adults. The results showed that the physical activity thresholds generated according to the entire sample were higher and presented higher specificity when compared to thresholds currently recommended. Moreover, these parameters presented relatively high accuracy, including when specifically applied to groups of sex, age, nutritional status and physical fitness. In the last article, two cut-points proposals were created to classify physical activity intensities with accelerometry method, using different criterion measures. In this study we also

presented a comparison among the estimates of moderate to vigorous physical activity according to the different cut-points proposals elaborated in the study. The results of this study allowed to identify that the choice of the criterion measure in analytical process of calibration in accelerometry exerts an important influence on the intensity thresholds identified and physical activity estimates.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	12
PROJETO DE PESQUISA	13
ALTERAÇÕES NO PROJETO DE PESQUISA	57
RELATÓRIO DE TRABALHO DE CAMPO	59
ARTIGO 1	80
<i>Calibration of raw accelerometer data to measure physical activity: A systematic review</i>	
ARTIGO 2	94
<i>Metabolic Equivalent Task (METs) thresholds as an indicator of physical activity intensity</i>	
ARTIGO 3	115
<i>Physical activity intensities based on accelerometry: calibration study and thresholds application</i>	
COMUNICADO À IMPRENSA	133

APRESENTAÇÃO

A presente tese de doutorado foi estruturada de acordo com as normas do Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia da Universidade Federal de Pelotas (PPGE-UFPel). Inicialmente apresentamos o projeto de pesquisa atualizado de acordo com as recomendações da banca durante o processo de qualificação.

Cinco seções compõe este volume: (1) o projeto de pesquisa atualizado de acordo com as recomendações da banca durante o processo de qualificação; (2) as mudanças em relação ao projeto de pesquisa submetido à banca de qualificação, bem como as justificativas para as alterações realizadas; (3) os relatórios dos trabalhos de campo dos estudos que deram origem aos dois últimos artigos da tese (estudo de calibração em acelerometria realizado na Escola Superior de Educação Física da Universidade Federal de Pelotas no ano de 2016) e acompanhamento de 2016 da Coorte de Nascimentos Pelotas – 1993); (4) o artigo de revisão sistemática e os outros dois artigos originais previstos no projeto de pesquisa; (5) o comunicado à imprensa local resumindo os principais resultados desta tese.

O primeiro artigo consiste em uma revisão sistemática a qual descreve detalhadamente todos os pontos de corte de intensidade de atividade física com dados brutos de acelerometria, bem como os métodos empregados por cada estudo. A avaliação dos parâmetros de validade (sensibilidade, especificidade e acurácia) de diferentes limiares de intensidade absoluta em METs, utilizados frequentemente como medida critério pelos estudos de calibração em acelerometria, foram analisados no segundo artigo da tese.

No último artigo foram criadas diferentes propostas de pontos de corte para classificação de intensidade de atividade física com acelerometria. Além disso, foram analisadas diferenças entre as estimativas de atividade física moderada à vigorosa, utilizando as propostas de ponto de corte criadas neste estudo.

SEÇÃO 1. PROJETO DE PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EPIDEMIOLOGIA

**CALIBRAÇÃO E APLICAÇÃO DE LIMIARES DE INTENSIDADE PARA
CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADE FÍSICA EM ADULTOS**

Doutorando: Márcio de Almeida Mendes

Orientadora: Elaine Tomasi

Coorientadores: Felipe Reichert e Inácio da Silva

Projeto de tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia da Universidade Federal de Pelotas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Epidemiologia.

Pelotas, RS
Agosto de 2015

Sumário

Resumo	16
Artigos propostos	19
1. Introdução	20
2. Revisão da Literatura	21
2.1. Métodos de medida da atividade física	21
2.1.1. Medidas Subjetivas	21
2.1.2. Medidas Objetivas	23
2.1.3. Classificação de intensidades de atividade física e tradução dos dados de acelerometria	29
3. Justificativa	34
4. Objetivos	35
4.1. Objetivo geral	35
4.2. Objetivos específicos	35
5. Materiais e métodos	35
5.1. Artigo 1 - Métodos de calibração de acelerômetros a partir de dados brutos: Uma revisão sistemática.	35
5.1.1. Aspectos metodológicos	35
5.2. Artigo 2 – Limiares em METs para classificação de intensidade de atividades físicas em adultos.	36
5.2.1. Aspectos metodológicos	36
5.3. Artigo 3 - Pontos de corte para classificação de padrões de atividade física mensurada por acelerometria: um estudo com adultos da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982.	42
5.3.1. Estudo de Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982	42
5.3.2. Aspectos metodológicos	43
5.4. Cronograma	46
5.5. Divulgação dos resultados	48
6. Referências	48
Anexo 1	53
Anexo 2	55

Resumo

A partir da metade do século XX, a prática de atividade física e sua relação com a saúde das populações vêm sendo objeto de diversos estudos. Somada à consolidação do conhecimento sobre os benefícios da atividade física à saúde e conseqüentemente um maior interesse por esta temática, constata-se também uma evolução quanto aos recursos metodológicos empregados, sendo criadas diferentes alternativas para mensuração deste comportamento.

Embora seja evidenciada uma evolução da área de pesquisa em atividade física, a mensuração deste comportamento ainda apresenta a necessidade de avanços. Atualmente, os acelerômetros – monitores portáteis que captam os movimentos corporais em diferentes eixos e permitem avaliar de forma objetiva a duração, frequência e intensidade das atividades físicas – representam um dos principais instrumentos de medida neste campo de pesquisa.

No entanto, trata-se de um instrumento relativamente novo para a mensuração de atividade física e, em consequência disto, passível ainda de aprimoramentos, principalmente no que diz respeito à interpretação das informações fornecidas e à distinção dos tipos de atividades físicas realizadas.

Neste contexto, a presente tese de doutorado terá como objetivo, primeiramente, revisar de forma sistemática a literatura e analisar os métodos para definição de pontos de corte que diferenciam intensidades de atividade física (tempo sedentário, atividades físicas leves, moderadas e vigorosas). Além disso, será analisado a influência de diferentes medidas critério (medidas de referência) sobre a definição dos pontos de corte de intensidade de atividade física e serão propostos novos critérios para a classificação destas intensidades. Assim, serão selecionados por conveniência um número amostral de 100 a 150 adultos para a realização de um estudo de calibração em acelerometria (área do conhecimento que se dedica ao estudo da utilização de acelerômetros como método objetivo de mensuração da atividade física). Os participantes serão submetidos a 10 tipos diferentes de atividades físicas, sendo coletadas durante a realização destas atividades informações dos acelerômetros, consumo de oxigênio e percepção subjetiva de esforço (PSE). A prática de atividade física será mensurada pelo acelerômetro,

enquanto o consumo de oxigênio será mensurado através de um analisador de gases e a PSE será obtida a partir de uma escala de esforço percebido.

Por fim, para a análise das diferentes classificações de intensidades de atividade física por meio de acelerometria, bem como para estimar o nível de atividade física conforme os diferentes pontos de corte que serão propostos por esta tese, serão utilizados os dados de acelerometria de 2.740 indivíduos participantes do acompanhamento aos 30 anos da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982.

Abstract

Since the mid-twentieth century, the physical activity practice and its relationship to the populations health has been the subject of several studies. Additionally to the established knowledge about physical activity health benefits and consequently the greater interest in this research field, it is also possible to observe an evolution in terms of alternatives for measurement of this behaviour.

However, even with the evolution of the field, physical activity measurement also presents challenges to be achieved. Currently, accelerometers – portable devices that capture body movements in different axes to assess objectively the duration, frequency and intensity of physical activity – represent one of the main instruments of measurement in this research field. However, despite its established relevance as a measure alternative, it is a relatively new method, and therefore, provide gaps to be enhanced, especially regarding to interpretation of the provided information and in terms of distinction of the types of physical activities.

In this context, the present doctoral thesis will aim, initially, to systematically review the literature and analyze the methods used to define thresholds to differentiate physical activity intensities (sedentary time, light, moderate and vigorous physical activity). In addition, it will be analyzed the influence of different criterion measures (reference measures) on the definition of thresholds of physical activity intensity. Further, it will be proposed new criteria for the classification of these intensities. Thus, a sample of 100 to 150 adults will be selected by convenience to perform a calibration study in accelerometry (area of knowledge that is dedicated to study the use of accelerometers as an objective method of physical activity measurement). Participants will be subjected to 10 different types of physical activities, being collected during these activities information from accelerometers, oxygen intake and perceived exertion (PE). The physical activity will be measured by the accelerometer, while oxygen consumption will be measured using a gas analyser and the PE will be obtained from a perceived exertion scale.

Finally, comparing different physical activity intensities using accelerometry and to estimate the level of physical activity according to the new proposed thresholds accelerometers data from 2,740 participants (30 years) from the 1982 Pelotas (Brazil) Birth Cohort Study will be analysed.

Artigos propostos

- 1.** Métodos de calibração de acelerômetros a partir de dados brutos: Uma revisão sistemática.
- 2.** Limiares em METs para classificação de intensidade de atividades físicas em adultos.
- 3.** Pontos de corte para classificação de padrões de atividade física mensurada por acelerometria: um estudo com adultos da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982.

1. Introdução

A partir da metade do século XX, a prática de atividade física e sua relação com a saúde das populações vêm sendo objeto de diversos estudos¹⁻⁴. Somada à consolidação do conhecimento sobre os benefícios da atividade física à saúde e conseqüentemente um maior interesse por esta temática, constata-se também uma evolução quanto aos recursos metodológicos empregados, sendo criadas diferentes alternativas para mensuração deste comportamento.

Atualmente, as opções existentes para mensuração da atividade física são questionários de atividade física, diários de atividade física, monitoramento de frequência cardíaca, calorimetria direta, calorimetria indireta, água duplamente marcada, observação direta, pedômetros e acelerômetros⁵⁻⁷.

Sobre estas diferentes formas de mensuração, o acelerômetro tem se mostrado uma alternativa mais viável em termos logísticos e econômicos quando comparado a outras medidas objetivas como calorimetria indireta ou água duplamente marcada. Além disso, em relação a medidas subjetivas como os questionários de atividade física - instrumento de medida mais utilizado em estudos de base populacional⁶ - os acelerômetros têm se mostrado uma medida mais fidedigna para estimativa de gasto energético^{6, 8, 9}.

Os acelerômetros, além das vantagens mencionadas, fornecem um dado de aceleração proporcional à força de resistência externa da gravidade, permitindo avaliar a intensidade dos movimentos corporais^{9, 10}.

No entanto, apesar de suas vantagens, como qualquer outro instrumento, os acelerômetros possuem algumas limitações importantes. Entre essas limitações, ressalta-se a impossibilidade de analisar o contexto em que as atividades físicas são realizadas, bem como a difícil interpretação das medidas de aceleração fornecidas pelos aparelhos, sendo necessários estudos de calibração que permitam dar significado biológico ou comportamental para as informações obtidas.

2. Revisão da Literatura

2.1. Métodos de medida da atividade física

Atividade física é definida conceitualmente como qualquer movimento corporal produzido pela musculatura esquelética que resulte em gasto energético¹¹, caracterizando-se como um comportamento de complexa avaliação, considerando sua diversidade em relação aos diferentes tipos de atividades e dimensões como frequência, intensidade e duração⁵.

Tendo em vista a complexidade deste comportamento, existem diferentes métodos que permitem estimar a prática de atividade física, porém não há um padrão ouro para sua mensuração.

Atualmente existem diferentes métodos que permitem estimar a prática de atividade física, sendo de modo geral classificados em dois grandes grupos: aqueles que utilizam as informações subjetivas relatadas pelos sujeitos em estudo, através de questionários e diários, e os que utilizam marcadores fisiológicos ou sensores de movimento⁵.

2.1.1. Medidas Subjetivas

2.1.1.1. Questionário

A medida da atividade física por meio de questionários é relatada com maior frequência na literatura científica, em função do seu custo relativamente baixo e da facilidade de sua aplicação em inquéritos populacionais^{12, 13}.

O questionário mais utilizado para a mensuração dos níveis de atividade física é o *International Physical Activity Questionnaire* (IPAQ)¹⁴. Este instrumento foi elaborado por um grupo de pesquisadores de diferentes países, sendo sua criação motivada por uma limitação de comparabilidade entre as medidas de atividade física, visto que por volta de 1990 uma parcela importante dos estudos apresentava instrumentos diferentes, não havendo uma padronização entre as mensurações.

O IPAQ possui duas versões, a curta e a longa¹⁵. A versão curta abrange itens como caminhadas, atividades físicas de intensidade moderada e vigorosa, sem distinguir em que domínios foram realizadas estas atividades. Nesta versão também há uma questão avaliando comportamento sedentário. Um estudo de Hallal¹⁵, avaliando o 10 anos de uso do IPAQ no Brasil e na Colômbia, sugere que a utilização da versão curta deste instrumento deve ser evitada, com exceção de situações para as quais o objetivo é manter a consistência entre os monitoramentos

quando esta versão já tenha sido utilizada. A versão longa do questionário fornece informações detalhadas dos hábitos diários de atividade física em quatro diferentes domínios - doméstico, lazer, trabalho e deslocamento. Os componentes mais utilizados são os de lazer e deslocamento, pois superestimam menos a prática de atividade física, além de serem mais passíveis de intervenções do setor público de saúde¹⁵. Existe também, nas duas versões, a possibilidade de utilizar apenas questões relacionadas a uma atividade específica como, por exemplo, a frequência e a duração semanal de caminhada.

Outro questionário bastante utilizado é o *Global Physical Activity Questionnaire* (GPAQ)¹⁶. O GPAQ foi desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), sendo um instrumento capaz de incorporar diferenças culturais e outras diferenças entre as populações em estudo. Este questionário tem sido usado em mais de 100 países, principalmente para inquéritos populacionais com objetivo de avaliar associações entre doenças crônicas não transmissíveis e atividade física. Assim como o IPAQ, o GPAQ abrange diferentes dimensões da atividade física, tais como intensidade, duração e frequência, permitindo também avaliar a prática conforme três domínios distintos em que as atividades físicas são realizadas (domínio ocupacional, domínio do deslocamento e domínio do lazer)¹⁷.

Tanto o IPAQ quanto o GPAQ têm se mostrado instrumentos relevantes para estimativa da prática de atividade física^{14, 16-18}, sendo ambos adequados para utilização em países de baixa e média renda, onde é mais provável da atividade física ser acumulada através dos diferentes domínios¹⁹⁻²¹.

Ao abordar sobre as características dos questionários em geral, ressalta-se algumas limitações na sua aplicação em populações de crianças e idosos. Em sua maioria, os questionários são elaborados para registrar períodos contínuos de atividade física. No entanto, grande parte das atividades realizadas pelas crianças caracteriza-se por ocorrer de maneira esporádica e não planejada e isto faz com que muitos dos questionários não consigam captar adequadamente as atividades realizadas por esta população. Outra limitação dos questionários, que se refere tanto às crianças quanto aos idosos, está atrelada a dificuldade que estes dois grupos em geral possuem quanto ao entendimento das perguntas e em relação às recordações necessárias para as respostas. Esta limitação prejudica a qualidade das informações e dificulta o uso dos questionários de atividades físicas nestas duas populações⁶.

Ainda referente ao uso deste instrumento com populações de crianças e idosos, existem situações em que a atividade física é estimada através do relato de terceiros, utilizando informações fornecidas pelos pais no caso das crianças e parentes ou cuidadores no caso dos idosos.

Na avaliação dos pontos positivos e negativos dos questionários, ressalta-se que apesar das limitações já mencionadas, devido à sua praticidade em termos econômicos e logísticos são os mais usados na área de epidemiologia da atividade física. Além disso, permitem a avaliação do contexto em que as atividades físicas são realizadas, fornecendo um importante dado para elaboração de propostas de intervenções e promoção da atividade física⁶.

2.1.1.2. Diário de atividade física

Os diários de atividade física são instrumentos que permitem registrar de forma retrospectiva e contínua as atividades físicas realizadas durante um determinado período²². Neste método os indivíduos estudados são instruídos a anotar cada atividade realizada em um curto intervalo de tempo. Este instrumento é menos utilizado em estudos populacionais comparado aos questionários, pois depende muito da colaboração dos entrevistados, podendo acarretar em pouca adesão por parte da população estudada e baixa qualidade das informações obtidas⁵.

2.1.2. **Medidas Objetivas**

Alguns métodos de mensuração que serão descritos a seguir como calorimetria, monitoração de frequência cardíaca e água duplamente marcada não fornecem necessariamente medidas de atividade física, mas sim mensurações de gasto energético que são utilizadas como *proxy* da prática de atividade física.

2.1.2.1. Observação direta

A observação direta é um método no qual os indivíduos são observados em diferentes contextos, permitindo uma descrição detalhada da prática de atividade física em ambientes específicos. Este método é muito utilizado por estudos envolvendo crianças, visto que a aplicação de questionários e diários de atividade física não é em geral apropriada para fornecer informações precisas desta população. Através da observação direta os indivíduos são observados em tempo

real ou por vídeo, sendo as informações gravadas e transformadas em uma pontuação⁶.

Este método apresenta vantagens importantes, permitindo avaliar, por exemplo, o tipo, o contexto, a intensidade e o tempo de atividade física realizada, sendo assim bastante útil para o entendimento de como o ambiente social e físico se relacionam com a prática de atividade física⁶.

Em contrapartida a observação direta não é um bom método para avaliação da prática de atividade física habitual, visto que para isso seria necessário observar os indivíduos em tempo integral. Apresenta também um custo relativamente elevado, em função de fatores como a necessidade de muitos observadores, a dificuldade de utilização durante períodos longos e espaços físicos grandes e o treinamento relativamente complexo dos observadores⁶.

2.1.2.2. Calorimetria

A prática de atividade física pode ser estimada a partir de calorimetria direta ou indireta.

O método de calorimetria direta consiste na medida de gasto energético a partir da taxa de calor perdido pelo corpo em relação ao ambiente. Comumente é uma medida realizada dentro de câmaras fechadas, caracterizando-se como uma medida bastante precisa.

Diferentemente da calorimetria direta que mede a transferência de calor do organismo para o meio ambiente, a calorimetria indireta leva em consideração as trocas gasosas do organismo com o ambiente, permitindo estimar o dispêndio energético a partir dos equivalentes calóricos do oxigênio consumido e do gás carbônico produzido²³.

Tanto a calorimetria direta quanto a indireta destacam-se por fornecerem medidas válidas em relação à água duplamente marcada - padrão ouro de mensuração do gasto energético, porém, mesmo com o desenvolvimento de métodos de calorimetria indireta que dispensam acomodar os indivíduos em laboratórios, ambos os métodos são limitados para estimar o gasto energético em condições reais da vida diária. Além disso, apresentam um custo relativamente alto, limitando sua utilização em estudos com grandes amostras⁵.

2.1.2.3. Monitoração de frequência cardíaca

A monitoração da frequência cardíaca permite definir a intensidade da atividade física e a recuperação após sua realização, tendo como parâmetro os batimentos do coração na unidade de tempo de um minuto (bpm). Através deste monitoramento é possível também estimar o gasto energético em ambientes controlados e durante a vida diária⁶. Dentre os métodos mais comuns de monitoração da frequência cardíaca inclui-se a radiotelemetria, a gravação contínua do eletrocardiograma e a monitoração através de microcomputadores portáteis.

Um método que vem sendo frequentemente utilizado é a monitoração da frequência cardíaca por meio dos microcomputadores portáteis. Estes instrumentos consistem em uma cinta emborrachada fixada no tórax que capta os batimentos do sujeito e um relógio de pulso que permite o armazenamento das informações e a sua transferência para o computador por meio de um *software* específico^{5, 6}.

Os diferentes métodos de monitoramento da frequência cardíaca citados são todos muito úteis para mensuração da frequência cardíaca, no entanto a sua precisão para estimar gasto energético e conseqüentemente a prática de atividade física é limitada, pois a frequência cardíaca, independente da atividade física, pode ser afetada por fatores como temperatura, uso de medicamentos, estresse e condicionamento físico. Especificamente sobre o microcomputador portátil, este é um instrumento que tem se mostrado uma boa alternativa de medida do gasto energético em estudos epidemiológicos, no entanto não é possível classificar o domínio das atividades realizadas, sendo também limitado para captar o gasto energético de atividades físicas leves^{5, 6}.

2.1.2.4. Água duplamente marcada

O método da água duplamente marcada foi desenvolvido na década de 40 e foi utilizada por muito tempo em animais, sendo testada em estudos com humanos a partir dos anos 80. Este método não mede diretamente a atividade física, mas estima o gasto energético através de produtos bioquímicos gerados a partir de sua prática, consistindo na ingestão de água marcada com isótopos de deutério e oxigênio. O deutério e o oxigênio ingeridos são expelidos, sendo o deutério eliminado como água enquanto o oxigênio é eliminado como água e dióxido de

carbono. A partir da concentração desses elementos na urina e no ar expirado é estimado o gasto energético das atividades físicas realizadas^{5, 6}.

Por meio deste método é possível estimar a prática de atividade física através do gasto energético total, porém ele não permite a avaliação de aspectos como tipo, frequência, duração e intensidade das atividades. Esta técnica apresenta também como desvantagem o custo relativamente alto devido à complexidade na obtenção das informações e na análise dos materiais coletados^{5, 6}. No entanto, o uso de água duplamente marcada permite avaliar o gasto energético das atividades físicas realizadas na vida cotidiana, não restringindo as informações ao âmbito das atividades realizadas apenas em ambientes controlados que não refletem o comportamento habitual dos indivíduos²⁴. Além disso, esta técnica fornece uma medida muito precisa do gasto energético total, sendo usada como padrão-ouro para a validação de outros métodos de mensuração do dispêndio energético relacionado à prática de atividade física^{5, 6}.

2.1.2.5. Pedômetros

Os pedômetros são contadores mecânicos que captam os passos realizados em resposta à aceleração vertical do corpo⁵. Eles são comumente usados na linha da cintura e na faixa medial da coxa⁷, podendo estimar, além do número de passos, a distância percorrida e o gasto energético através da calibração do monitor à amplitude das passadas^{5, 7}.

Este instrumento, por ser um sensor de passos, não permite distinguir as intensidades das caminhadas ou corridas, apresentando também como limitação a incapacidade de captar práticas como ciclismo, natação, levantamento de pesos e demais atividades executadas exclusivamente com os membros superiores^{6, 7}. Como os pedômetros não fornecem a unidade de tempo em que os passos foram realizados, este método é mais utilizado para estimativa da prática total de atividade física, a despeito da incapacidade de captar algumas atividades já mencionadas.

Os pedômetros são muito usados em estudos com crianças devido à dificuldade de aplicar outros instrumentos como questionários para esta população, porém o seu uso pode resultar em um comportamento reativo por parte das crianças estudadas, ou seja, cientes de que os pedômetros fornecem uma pontuação conforme o número de passos as crianças acabam praticando mais atividades que o habitual⁶.

2.1.2.6. Acelerômetros

Os acelerômetros são dispositivos portáteis que medem a aceleração dos movimentos corporais em um, dois ou três eixos (vertical, medio-lateral e antero-posterior)^{5, 6, 25}. Ao longo dos anos de pesquisa em atividade física, este comportamento tem sido avaliado principalmente por meio de questionários, no entanto atualmente os acelerômetros também representam uma importante alternativa metodológica de mensuração da atividade física, sendo sua utilização cada vez mais frequente.

Este instrumento é limitado para captar algumas práticas como atividades isométricas (atividades com contrações que não alteraram o comprimento muscular, como segurar uma caixa), trabalho muscular contra uma força externa (exercícios de musculação), caminhadas na esteira, remo ou patinação, podendo, em vista disso, subestimar a atividade física^{6, 25, 26}. Entre suas vantagens, ressalta-se a possibilidade de fornecer tanto a atividade física total quanto a frequência, intensidade e a duração das atividades em períodos específicos⁶.

No entanto, mesmo os acelerômetros representando uma alternativa de medida relevante para descrição da atividade física, o custo ainda elevado deste instrumento limita o seu uso em estudos populacionais. Atualmente, um modelo de acelerômetro da marca mais utilizada pelos estudos está custando em torno de U\$225,00.

Além do alto custo, uma limitação importante sobre o uso dos acelerômetros em pesquisas é a falta de padronização quanto aos critérios metodológicos de utilização deste instrumento⁶.

Quanto ao tempo de uso, por exemplo, Trost²⁷, sugere que para estudos com crianças o mais adequado é manter o uso dos acelerômetros de quatro a cinco dias; no entanto, o mesmo autor em estudo posterior recomenda de quatro a nove dias de uso²⁸.

Além dos diferentes critérios sobre os dias de uso, os acelerômetros podem ser fixados em diferentes locais do corpo, existindo estudos que optaram pela sua colocação no tórax, na coxa, no tornozelo, no pulso e na cintura. No entanto, a opção mais comum entre as pesquisas com acelerometria é a fixação do sensor de movimento na cintura, pois este segmento situa-se mais perto do centro de massa de um corpo íntegro, sendo relativamente menos afetado pelo efeito gravitacional⁹.

Existem também diferenças importantes entre os acelerômetros quanto ao tipo de informação fornecida e sua interpretação. Os primeiros sensores de acelerometria captavam apenas as acelerações em um eixo, no entanto atualmente já existem aparelhos chamados tri-axiais que detectam as acelerações relativas aos eixos vertical, médio-lateral e ântero-posterior. Embora os acelerômetros tri-axiais forneçam uma informação relativamente mais completa, não existem evidências que comprovem sua vantagem em relação aos instrumentos que captam a aceleração apenas em um ou dois eixos corporais⁵.

Os registros dos sinais de movimento captados pelos acelerômetros em um intervalo de tempo são chamados de *epoch*, e o *epoch* pode variar de menos de um segundo até alguns minutos, dependendo do critério adotado pelos estudos. Esta variação no tempo de *epoch* entre os estudos interfere no armazenamento e interpretação dos dados, pois quanto menor o *epoch* maior o detalhamento das medidas. Em contrapartida, um menor intervalo de *epoch* poderá resultar em um maior consumo de bateria do acelerômetro, possibilitando um tempo menor de fixação do aparelho e de obtenção das informações⁶.

Ainda sobre a interpretação dos dados, ressalta-se que os sinais de aceleração dos movimentos podem ainda variar quanto à unidade em que são registrados, podendo ser analisados em sua forma bruta, a qual é baseada na aceleração da gravidade (g), sendo $1g = 9.81 \text{ m/s}^2$, ou analisados sob a unidade de *counts*. Alguns aparelhos não fornecem o dado bruto de aceleração, possibilitando apenas trabalhar com os *counts*, que são gerados a partir de *softwares* próprios de cada marca, com algoritmos e suposições desconhecidos para os pesquisadores²⁹.

Esta falta de padronização em relação aos dias de uso, ao segmento corporal no qual o instrumento é fixado e à interpretação das informações obtidas pelos acelerômetros, dificulta a comparabilidade entre os estudos, sendo esta dificuldade uma importante limitação a ser superada no campo de pesquisa com acelerometria. Além da falta de padronização, o fato dos acelerômetros não permitirem avaliar o contexto em que as atividades físicas são realizadas dificulta a sua utilização em estudos para os quais o tipo e o domínio das atividades físicas são informações fundamentais.

No entanto, a despeito de todas as suas limitações, os acelerômetros permitem evitar o viés de informação presente nos questionários - em que as pessoas acabam relatando o que gostariam de ter realizado ao invés de responder o

que de fato realizaram, superestimando a prática de atividade física – contribuindo para um melhor entendimento da relação entre atividade física e saúde³⁰.

2.1.3. Classificação de intensidades de atividade física e tradução dos dados de acelerometria

2.1.3.1. Percepção Subjetiva de Esforço (PSE)

Existem diferentes definições para a PSE. Segundo Borg³¹, a PSE consiste em um indicador do grau de estresse físico. Já Marcora³², define a PSE como o esforço despendido ao realizar uma atividade física.

Embora estes dois conceitos apresentados pareçam definir a mesma coisa, porém com palavras diferentes, estas duas definições na verdade são frutos de duas concepções distintas sobre o entendimento da PSE. O conceito de Borg³¹ é baseado na teoria do *feedback aferente*. Atualmente, a maioria das pesquisas com PSE baseiam-se nesta teoria, e de acordo com ela, a PSE é gerada principalmente a partir de informações aferentes dos sistemas periféricos, que são transmitidas ao cérebro, sendo o conjunto dos sistemas cardiorrespiratório, muscular e metabólico, os responsáveis pelas informações que levam à geração da PSE³³. Enquanto Marcora³², em publicação mais recente, entende a PSE sob a teoria denominada *disparo corolário*. A partir desta teoria entende-se que a PSE é gerada pelo cérebro, com pouca ou nenhuma participação de informações de *feedback* aferente de sistemas periféricos. A teoria do *disparo corolário* - também denominada como *cópia eferente* - sugere que a PSE é gerada a partir do comando motor enviado do cérebro aos músculos, havendo uma “cópia” ou “irradiação” concomitantemente enviada às áreas cerebrais sensoriais, resultando na PSE³³.

As escalas de PSE propostas por Borg^{31, 34}, medem o esforço durante determinada atividade, instruindo os indivíduos a expressar verbalmente um valor numérico (de 6 a 20 ou 0 a 10) que corresponde a uma intensidade conforme mostram o Quadro 1 e o Quadro 2.

Embora existam divergências conceituais acerca dos mecanismos causais da PSE, as escalas de PSE propostas por Borg^{31, 34} fornecem medidas que se mostram altamente correlacionadas com indicadores biológicos de intensidade de atividade física como consumo de oxigênio muscular e frequência cardíaca, sendo amplamente utilizadas no âmbito científico³³.

Quadro 1 – Escala de PSE com 15 categorias de intensidade³⁴.

6	
7	muito, muito leve
8	
9	muito leve
10	
11	razoavelmente leve
12	
13	um pouco intenso
14	
15	intenso
16	
17	muito intenso
18	
19	muito, muito intenso
20	

Quadro 2 – Escala de PSE com valores numéricos de 0-10³¹.

0	absolutamente nada	
0,5	muito, muito leve	
1	muito leve	
2	leve	leve
3	moderada	
4	um pouco intenso	
5	intenso	vigorosa
6		
7	muito intenso	
8		
9		
10	muito, muito intenso	quase o máximo

2.1.3.2. Classificação das atividades físicas a partir dos limiares de intensidade em METs

O MET é uma unidade de medida usada para estimar gasto energético e intensidade das atividades físicas. Um MET equivale à taxa metabólica de repouso absoluto, que pode ser expressa em calorias (1,0 kcal·peso corporal em kg⁻¹·hora⁻¹) ou em consumo de oxigênio celular (VO₂ - 3,5 ml de oxigênio·peso corporal em kg⁻¹·min⁻¹), sendo o equivalente metabólico de cada atividade obtido através da razão entre a taxa metabólica durante a prática e a taxa metabólica de repouso³⁵.

Em 1995 foi publicado um artigo de recomendações para a prática de atividades físicas, elaborado principalmente por iniciativa do *Centers for Disease Control and Prevention (CDC)* e do *American College of Sports Medicine (ACSM)*. Entre as recomendações feitas nesta publicação há uma proposta de classificação das intensidades de atividade física conforme intervalos de valores em METs³⁶. Esta

proposta foi elaborada reunindo evidências de três fontes: os livros *Physical Fitness*³⁷ e *Exercise Physiology, Energy Nutrition Performance*³⁸, e o artigo científico intitulado *Compendium of Physical Activities*³⁵.

Nestas fontes constavam dados sobre a realização de uma gama de atividades físicas como caminhar, correr, andar de bicicleta, entre outras práticas, e suas respectivas estimativas de consumo médio de oxigênio pelo organismo. Partindo das evidências disponíveis até o momento sobre os equivalentes metabólicos de determinadas atividades físicas, Pate e colaboradores³⁶ elaboraram a proposta de classificar todas as atividades com menos de três METs como leves, de três a seis METs como moderadas e acima de seis METs como vigorosas. Esta proposta vem sendo adotada até então, fazendo parte das atuais recomendações de atividade física³⁹, bem como sendo utilizada como parâmetro para diversos estudos de calibração em acelerometria⁴⁰⁻⁴⁴.

No entanto, considerando que os equivalentes metabólicos de cada atividade são influenciados por características como sexo, idade, peso e aptidão física, existe a possibilidade desta classificação não refletir de forma precisa o real esforço realizado para cada atividade, porém isso não foi possível avaliar pois não encontramos na literatura evidências acerca dos indicadores de validade destes limiares em METs em relação a outros métodos.

2.1.3.3. Calibração de acelerômetros

Para estimar através de acelerometria as atividades físicas leves, moderadas e vigorosas, torna-se necessário traduzir os dados de aceleração em uma medida com significado biológico ou comportamental. Este processo é realizado pelos chamados estudos de calibração em acelerometria, que consistem na identificação de pontos de corte para distinção das intensidades de atividade física e na tradução dos dados de aceleração em unidades de dispêndio energético, tendo como medidas critério a calorimetria indireta ou a observação direta³⁰.

Existem atualmente diversas propostas de pontos de corte que vêm sendo adotadas pelos estudos com acelerômetros, o que exerce importante influência nas medidas de comportamento sedentário e de atividade física. Reilly⁴⁵, em um estudo de revisão, mostrou as médias do tempo diário de comportamento sedentário e de atividade física moderada e vigorosa, conforme os pontos de corte mais utilizados

pelos pesquisadores desta temática, ficando evidente que as diferenças entre os limiares de intensidade afetam significativamente as estimativas dos dois comportamentos em questão. Isto limita a comparabilidade entre estudos de prevalência de atividade física, podendo também distorcer os valores das medidas de efeito em estudos de associação³⁰.

Como não existe um único e consolidado critério metodológico para definição dos limiares de intensidade com acelerometria, diferentes critérios metodológicos são adotados nos estudos de calibração quanto à definição das intensidades de atividade física, tamanho e características amostrais, protocolo adotado e procedimentos estatísticos, sendo esta diversidade de critérios uma variável determinante para as discordâncias entre os pontos de corte³⁰. Inclusive este aspecto será o tema principal de um dos artigos da tese, em que buscará explorar diferentes métodos de calibração de acelerômetros para sua utilização em estudos epidemiológicos.

Ainda em relação aos critérios metodológicos, ressalta-se uma diferença importante referente aos procedimentos estatísticos adotados para elaboração dos pontos de corte. Os recursos estatísticos mais usuais são os modelos de regressão e curvas ROC. Através dos modelos de regressão é possível criar limiares ajustados às características da amostra, porém eles fornecem estimativas imprecisas com elevados erros-padrão. Já a utilização de curvas ROC permite ao pesquisador testar diferentes possibilidades de pontos de corte no gráfico da curva e escolher o limiar mais apropriado conforme os melhores parâmetros de sensibilidade e especificidade³⁰.

A generalidade entre os diferentes pontos de corte, também denominada como validade cruzada, consiste na comparação da classificação da intensidade de atividade física de cada limiar em amostras distintas, considerando alguns parâmetros como sensibilidade/especificidade e limites de concordância. Os estudos vêm mostrando também que a generalidade dos pontos de corte propostos para populações de crianças e adolescentes é afetada pelas características das amostras e também pela variação das atividades físicas em que os sujeitos são submetidos em cada estudo. No entanto, os indicadores de generalidade têm sido mais elevados quando testados em amostras independentes do que em atividades distintas³⁰.

Portanto, considerando que os pontos de corte podem ser influenciados por diversos fatores relacionados aos critérios metodológicos adotados, e que a coleta,

bem como o armazenamento das informações, pode ser diferente entre os modelos de acelerômetros, é recomendado que os modelos de predição do gasto energético e as propostas de pontos de corte para intensidades de atividade física sejam elaborados conforme a especificidade de cada população e o tipo de acelerômetro³⁰.

3. Justificativa

Os acelerômetros representam atualmente - como já foi mencionado neste projeto – junto dos questionário os principais instrumentos de medida no campo de pesquisa da atividade física⁹, permitindo avaliar de forma objetiva a duração, a frequência e a intensidade das atividades realizadas.

No entanto, embora os acelerômetros representem uma alternativa de mensuração relevante, ao mesmo tempo configuram-se como uma instrumento de medida relativamente novo e, em consequência disto, passível ainda de aprimoramentos, principalmente no que diz respeito à interpretação das informações fornecidas pelo instrumento.

Dependendo do objetivo de pesquisa em estudos que avaliam a atividade física, seja como desfecho ou como exposição, torna-se fundamental a classificação das atividades conforme suas intensidades. Com a finalidade de permitir a distinção das intensidades de atividade física a partir de sinais de aceleração dos movimentos corporais, os estudos de calibração em acelerometria estabelecem relações de equivalência dos dados de aceleração, sob as unidades em *g* ou em *counts*, com medidas biológicas como consumo de oxigênio ou gasto calórico³⁰.

Contudo, embora este processo de tradução dos dados de acelerômetro permita tal diferenciação, a maioria dos pontos de corte propostos pelos estudos de calibração tem como parâmetro os limiares de intensidades sob uma unidade de equivalente metabólico denominada MET⁴⁵, propostos por Pate³⁶, para os quais não se tem evidências sobre os indicadores de validade desta medida critério.

Portanto, o uso destes limiares em METs podem acarretar distorções nas medidas com acelerometria, resultando em subestimativa ou superestimava da prática de atividades físicas leves, moderadas ou vigorosas.

4. Objetivos

4.1. Objetivo geral

Analisar a influência de diferentes medidas critério sobre os pontos de corte de intensidade de atividade física propostos por um estudo de calibração em acelerometria.

4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Revisar a literatura de forma sistemática sobre os métodos e os resultados encontrados em estudos de calibração em acelerometria com sinais brutos de aceleração.

4.2.2. Propor uma nova categorização de intensidade absoluta de atividade física em METs, adotando como medidas critério a PSE e o percentual do consumo máximo de oxigênio (%VO₂max).

4.2.3. Elaborar duas propostas de pontos de corte para classificação de intensidades de atividade física com dados de acelerometria. Comparar os padrões de atividade física em adultos conforme as diferentes propostas de pontos de corte.

5. Materiais e métodos

Os três artigos propostos neste projeto de tese resultarão de estudos distintos. O primeiro artigo será fruto de uma revisão sistemática, o segundo será originado de um estudo de calibração, enquanto o último será elaborado a partir de dados do estudo de calibração anterior e do acompanhamento aos 30 anos do estudo de Coorte de Nascimento de Pelotas de 1982.

5.1. Artigo 1 - Métodos de calibração de acelerômetros a partir de dados brutos: Uma revisão sistemática.

5.1.1. Aspectos metodológicos

Utilizou-se as bases de dados *PubMed*, *Scopus*, *SPORTDiscus* e *Web of Science*, com a seguinte combinação de descritores: *[("motor activity" OR "physical activity" OR "physical fitness" OR "physical exercise") AND ("accelerometry" OR*

"accelerometer" OR "motion sensor") AND ("calibration" OR "cut-off" OR "cut-point" OR "threshold" OR "validity" OR "validation") AND ("raw acceleration" OR "raw data"]].

Foram incluídos os artigos de calibração em acelerometria, utilizando dados brutos. Ainda sobre os critérios de inclusão, ressalta-se que foram também considerados elegíveis os artigos cuja validação dos acelerômetros foi o objetivo principal, sendo a calibração apresentada como objetivo secundário. Em relação aos critérios de exclusão, foram excluídos: artigos de calibração com dados sob a unidade de *Counts*; artigos de revisão; teses e dissertações e artigos não publicados.

A seleção dos artigos foi conduzida pelo primeiro autor da tese. Nos casos de dúvida sobre a elegibilidade dos estudos, um dos coorientadores foi consultado para decisão de excluir ou não os artigos.

Até o dia 15 de julho de 2015 foram identificados 1.267 títulos, sendo selecionados 140 para a leitura dos resumos. Após a avaliação dos resumos, permaneceram 41 artigos para serem lidos na íntegra. Ao final do processo de identificação e seleção das referências, cinco artigos foram considerados elegíveis, sendo um deles identificado a partir das referências dos demais artigos revisados.

5.2. Artigo 2 – Limiares em METs para classificação de intensidade de atividades físicas em adultos.

5.2.1. Aspectos metodológicos

5.2.1.1. População-alvo

Adultos com idade de 20 anos ou mais residentes na cidade de Pelotas/RS.

5.2.1.2. Amostra

5.2.1.2.1. Tamanho e processo amostral

A amostra será constituída por conveniência, estimando-se incluir entre 100 e 150 participantes, convidados e voluntários, com 20 anos ou mais de idade.

5.2.1.2.2. Critérios de exclusão

Serão excluídos todos aqueles com alguma incapacidade de locomover-se caminhando de um local ao outro, seja esta incapacidade devida à lesão ou deficiência física. Serão ainda excluídos aqueles com relato de doenças crônicas como, doenças do coração em geral, diabetes, hipertensão e qualquer doença pulmonar. Para avaliar a prontidão para prática dos protocolos de atividade física será utilizado o instrumento *Questionário para Avaliação de Prontidão para Atividade Física* (PAR-Q) (Anexo 1)⁴⁶. Aqueles indivíduos com pelo menos uma resposta positiva no PAR-Q não serão considerados elegíveis para o estudo.

5.2.1.3. Logística do estudo

Os participantes serão convidados a adotar um protocolo baseado em atividades físicas dentro e fora de laboratório, comparecendo ao local dos testes uma única vez. Este protocolo será realizado no Laboratório de Fisiologia e Bioquímica do Exercício (Labfex) e na quadra de futebol de sete da ESEF-UFPeI). O processo de realização deste protocolo será integralmente supervisionado pelo pesquisador principal do estudo, sendo este graduado em Educação Física pela Universidade Federal de Pelotas. Antes de participar da sessão de testes, os participantes serão instruídos a abster-se de praticar atividades físicas vigorosas no mesmo dia e a não ingerir alimentos no período de duas horas que antecedem os testes. Os participantes serão instruídos também a comparecerem com roupas e calçados confortáveis para a prática de atividade física. Ainda antes da realização das atividades, será aferido o peso dos participantes através de uma balança eletrônica *TANITA Modelo UM-0800 Scale plus Body Fat Monitor With Body Water*, estando homens e mulheres com roupas leves (camiseta e bermuda/calça) e sem sapatos. Já a altura será aferida sem sapatos por meio de um estadiômetro da marca *ALTURAEXATA*.

O protocolo será constituído de 10 atividades estruturadas descritas no Quadro 3. Para a escolha das atividades buscou-se elencar práticas comuns da vida diária de adultos, utilizando-se também como referência um protocolo utilizado em um estudo recentemente publicado⁴. Cada atividade será realizada por cinco minutos, exceto quando os indivíduos permanecem deitados durante 10 minutos. Da primeira à oitava atividade, todas serão realizadas em laboratório, havendo entre

elas intervalos de dois minutos. Ao término das atividades em laboratório haverá um intervalo de cinco minutos até iniciarem as atividades ao ar livre. O intervalo entre a nona e a décima atividade será novamente de dois minutos.

Será ainda realizada a seleção de uma sub-amostra de 20% do número total de participantes, estratificada por sexo, idade, peso e nível de atividade física no lazer, para a realização de um teste incremental de consumo máximo de oxigênio. Para este teste será utilizado o protocolo de ciclo ergômetro de Balke. Abaixo segue a descrição deste protocolo⁴⁷⁻⁴⁹:

Homens - Aquecimento durante 3 minutos a 100 watts, após aumenta para 150 watts e realiza um estágio de 2 minutos. Na sequência a cada 2 minutos realiza uma mudança de estágio com aumento de 50 watts a cada 2 minutos até o indivíduo não conseguir mais suportar o teste.

Mulheres - Aquecimento durante 3 minutos a 50 watts, após aumenta para 100 watts e realiza um estágio de 2 minutos. Na sequência a cada 2 minutos realiza uma mudança de estágio com aumento de 25 watts a cada 2 minutos até o indivíduo não conseguir mais suportar o teste.

Tanto em relação aos homens quanto às mulheres, durante a realização do teste os indivíduos devem manter uma frequência de 60 rotações por minuto (rpm) na pedalagem, a qual será fixada na própria bicicleta.

Quadro 3 – Descrição das atividades.

Ordem	Atividade (minutos)	Descrição
1 ^a	Deitado (10')	Deitado em decúbito dorsal com os braços juntos ao tronco.
2 ^a	Sentado (5')	Sentado em uma cadeira, usando o computador sobre uma mesa.
3 ^a	Em pé (5')	Em pé, falando ao celular.

Continuação

4 ^a	Circuito (5')	Tirar os sapatos, em pé, mover oito objetos em uma estante, escrever uma mensagem no celular e sentar-se.
5 ^a	Caminhada devagar, 3 km·h ⁻¹ (5')	Caminhada na esteira.
6 ^a	Caminhada rápida, 5 km·h ⁻¹ (5')	Caminhada na esteira.
7 ^a	Caminhada rápida a 5 km·h ⁻¹ alternada com a atividade de subir e descer de um degrau (5')	No início do minuto dois e quatro, subir em um degrau de 20 cm de altura e descer dele por 15 vezes. No restante do tempo, caminhar na esteira.
8 ^a	Corrida 8 km·h ⁻¹ (5')	Corrida na esteira.
9 ^a	Caminhada rápida, 5 km·h ⁻¹ (5')	Caminhada fora da esteira, ao ar livre
10 ^a	Corrida 8 km·h ⁻¹ (5')	Corrida fora da esteira, ao ar livre

Durante a realização das atividades os participantes estarão usando dois acelerômetros de modelos diferentes no pulso correspondente à mão dominante (caminho médio dorsal entre o processo estilóide radial e ulnar), outro acelerômetro no quadril (no lado direito do quadril correspondente à linha axilar média) igual a um dos modelos utilizados no pulso e um analisador de gases móvel fixado no rosto. No início do minuto final de cada atividade, os participantes farão o relato da PSE ao investigador, que registrará em uma planilha.

Os instrumentos serão programados para armazenar os sinais de aceleração e o consumo de oxigênio durante todo o período de cada atividade. Porém ao

analisar os dados, se considerará para primeira atividade apenas as informações correspondentes ao período dos 7 aos 9,5 minutos, enquanto para o restante das atividades serão avaliados os dados referentes ao intervalo dos minutos 2,5 a 4,5. As informações serão avaliadas somente a partir do minuto 2,5 com intuito de analisar somente os dados correspondentes ao período em que o organismo dos participantes já entrou em um estado estável da atividade.

Os acelerômetros serão configurados para captar os sinais de aceleração com uma frequência de 30 Hz e resumir as informações de cinco em cinco segundos, ou seja, com uma *epoch* de cinco segundos. As informações de acelerometria serão armazenadas no computador através do *software ActiLife* versão 6.11.3 e analisadas por meio do *software R-code*.

5.2.1.4. Definição operacional do desfecho

O METs correspondentes as atividades físicas realizadas serão analisados de forma contínua. O desfecho irá consistir na média dos METs para cada categoria de intensidade relativa (PSE e %VO₂max).

5.2.1.5. Variáveis independentes

A descrição das variáveis independentes está contemplada no Quadro 4.

Quadro 4 – Descrição das variáveis independentes.

Variáveis	Definição operacional	Tipo de variável
%VO ₂ max	- Leve (<46); - Moderada (46 – 63); - Vigorosa (>63).	Categórica ordinal
PSE	- Leve (<12); - Moderada (12-13); - Vigorosa (>13).	Categórica ordinal

Estas variáveis foram definidas de acordo com a recomendações para prescrições de exercícios publicada pelo American College of Sports Medicine no ano de 2011⁵⁰.

5.2.1.6. Instrumentos

Para a mensuração da prática de atividade física se utilizará os acelerômetros *GENEActiv (Gravity Estimator of Normal Everyday Activity)*⁴ e *wGT3X-BT*⁴⁴. O

consumo de oxigênio será mensurado através do analisador de gases VO2000⁵¹, enquanto a PSE será obtida a partir da Escala de PSE proposta por Borg³⁴.

5.2.1.7. Análise dos dados

O consumo de oxigênio, sob a unidade de $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, será convertido para METs usando o padrão de conversão de $1 \text{ MET} = 3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

As informações de PSE relatadas durante as atividades serão agrupadas em leve (<12), moderada (12-13) e vigorosa (>13), enquanto os dados de consumo de oxigênio serão categorizados em leve (Leve (<46%VO₂max); moderada (46–63%VO₂max) e vigorosa (>63%VO₂max).

O próximo passo será analisar as médias dos METs nas diferentes categorias de intensidade de atividade física de acordo com variáveis binárias (0 ou 1). Esta categorização ocorrerá adotando como variáveis independentes as intensidades de atividade conforme a PSE (leve versus >leve e vigorosa versus <vigorosa). O mesmo procedimento será realizado, adotando como medida de referência as categorias de %VO₂max. Este tratamento dos dados irá permitir posteriormente a análise de *Receiver Operator Characteristic curve* (curva ROC), como é descrito com maiores detalhes por Esliger⁴².

A partir da análise de curva ROC serão elaboradas as duas propostas de limiares de intensidade de atividade física em METs, uma delas tendo como variável independente as categorias de intensidade de PSE e a outra as categorias de intensidade da %VO₂max, buscando estabelecer em ambas as propostas pontos de corte com elevadas medidas de sensibilidade (identificar corretamente as atividades acima do limiar de intensidade) e de especificidade (excluindo corretamente atividades abaixo do limiar de intensidade).

5.2.1.8. Aspectos éticos

Todos os sujeitos que concordarem em participar do estudo assinarão um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo 2). Será garantido a todos o direito de abandonar o estudo a qualquer momento e o direito à confidencialidade dos dados. O projeto do estudo de calibração será submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da UFPel.

5.3. Artigo 3 - Pontos de corte para classificação de padrões de atividade física mensurada por acelerometria: um estudo com adultos da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982.

5.3.1. Estudo de Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982

O estudo teve início com um inquérito de saúde perinatal, incluindo todas as 6.011 crianças nascidas nas três maternidades cujas mães residiam na zona urbana, representando 99,2% dos nascimentos ocorridos na cidade de Pelotas em 1982. Do total de elegíveis, menos de 1% das crianças foram perdidas e em menos de 1% dos casos as mães se recusaram a participar do estudo⁵². Ao longo dos anos muitos acompanhamentos foram realizados com este mesmo grupo, sendo último deles no ano de 2012, quando os indivíduos estavam completando 30 anos de idade. A Tabela 1 descreve os acompanhamentos realizados com os nascidos vivos no ano de 1982 na cidade de Pelotas.

Tabela 1. Descrição dos acompanhamentos da Coorte de 1982.

ANO	ACOMPANHAMENTO
1982	Todas as crianças (estudo perinatal)
1983	1/3 da coorte (nascidos entre os meses de janeiro e abril)
1984	Todas as crianças
1986	Todas as crianças
1997	Adolescentes 27% dos setores censitários da cidade
2000	Todos os homens
2001	Os mesmos de 1997
2004-2005	Todos os adultos
2012	Todos os adultos

Em 2012, quando os membros da coorte de 1982 completaram 30 anos, foi realizado um novo acompanhamento, incluindo todos os indivíduos. O projeto foi

intitulado como “Acompanhamento aos 30 anos de idade dos adultos jovens pertencentes à coorte de nascimentos de 1982: Influências precoces e contemporâneas sobre a composição corporal, capital humano, saúde mental e precursores de doenças crônicas complexas. Pelotas, RS”.

Maiores detalhes sobre a Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982 podem ser encontrados em trabalhos já publicados^{52, 53}. Quanto aos aspectos metodológicos adotados no acompanhamento aos 30 anos realizado nos anos de 2012, eles serão descritos posteriormente na seção da tese “Relatório do trabalho de campo”.

5.3.2. Aspectos metodológicos

5.3.2.1. População-alvo

Todos os adultos nascidos vivos na cidade de Pelotas no ano de 1982.

5.3.2.2. Amostra

5.3.2.2.1. Cálculo do tamanho amostral

Considerando o delineamento do estudo da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982, não houve cálculo de tamanho amostral. Espera-se incluir nas análises os 2.740 indivíduos com informação de acelerometria no acompanhamento aos 30 anos da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982.

5.3.2.2.2. Critério de exclusão

No acompanhamento aos 30 anos da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982, foram excluídos da coleta de dados com acelerometria: as grávidas; possíveis grávidas (participantes com grande atraso menstrual que tinham quase certeza de estarem grávidas a ponto de já terem modificado o seu comportamento na rotina diária, apenas faltava confirmação por exame); moradores de fora de Pelotas que não estariam na cidade por tempo superior a uma semana; participantes com endereços de Pelotas que estavam partindo para viagem de trabalho ou de férias quando vieram à clínica e sem prazo para retorno; participantes cujo trabalho impedisse a utilização do acelerômetro na rotina diária (ex: mecânico, padeiro); deficientes físicos (amputados, cadeirantes).

5.3.2.3. Definição operacional do desfecho

O desfecho consistirá na média dos minutos de prática semanal de atividades físicas.

5.3.2.4. Variáveis independentes

As variáveis independentes estão detalhadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Descrição das variáveis independentes.

Variáveis	Definição operacional	Tipo de variável
Ponto de corte tendo como medida critério as categorias de intensidades de atividade física em METs	- Comportamento sedentário (de A# g/s a B# g/s); - Leve (de C# g/s a D# g/s); - Moderada (de E# g/s a F# g/s); - Vigorosa (de G# g/s a H# g/s).	Categórica
Ponto de corte tendo como medida critério as categorias de intensidades de atividade física conforme a PSE	- Comportamento sedentário (de I# g/s a J# g/s); - Leve (de L# g/s a M# g/s); - Moderada (de N# g/s a O# g/s); - Vigorosa (de P# g/s a Q# g/s).	Categórica

#Classificação a ser obtida através do estudo de calibração.

5.3.2.5. Instrumentos

Para calibração dos dados de acelerometria e elaboração dos pontos de corte de intensidades, a atividade física será medida com o modelo de acelerômetros *wGT3X-BT*⁴⁴. O consumo de oxigênio será estimado através do analisador de gases *VO2000*⁵¹. Já a PSE será obtida a partir da Escala de PSE proposta por Borg³¹. Os dados de atividade física do estudo da Coorte de Nascimentos de 1982 que serão analisados conforme as propostas de ponto de corte foram já mensurados com o acelerômetro *GENEActiv (Gravity Estimator of Normal Everyday Activity)*⁴.

5.3.2.6. Análise dos dados

A partir dos dados de consumo de oxigênio, PSE e acelerometria coletados durante a realização das atividades físicas descritas na seção de materiais e métodos do artigo 2, serão elaboradas duas propostas de pontos de corte para classificação das intensidades de atividade física.

A calibração dos dados de acelerometria em g será realizada da seguinte forma: primeiramente as informações de consumo de oxigênio, sob a unidade de $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, serão convertidas para METs usando o padrão de conversão de $1 \text{ MET} = 3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ e, em seguida, classificadas de acordo com as categorias de intensidade em METs propostas por Pate³⁶, leve (<3 METs), moderada (3 - 6 METs), ou vigorosa (>6 METs). Já as informações de PSE relatadas durante as atividades serão agrupadas em leve (muito, muito leve; muito leve; leve), moderada (moderada; um pouco intenso) e vigorosa (intenso; muito intenso; muito, muito intenso).

O próximo passo será analisar as informações de acelerometria obtidas nas diferentes atividades de acordo com variáveis binárias (0 ou 1). Esta categorização ocorrerá adotando as intensidades de atividade em METs e PSE como variáveis independentes (leve versus >leve e vigorosa versus <vigorosa) para permitir posteriormente a análise de *Receiver Operator Characteristic curve* (curva ROC).

A partir da análise de curva ROC serão elaboradas as duas propostas de ponto de corte para os dados de acelerometria, uma delas tendo como variável independente as categorias de intensidade em METs e a outra as categorias de intensidade da PSE, buscando estabelecer em ambas as propostas pontos de corte com elevadas medidas de sensibilidade (identificar corretamente as atividades acima do limiar de intensidade) e de especificidade (excluindo corretamente atividades abaixo do limiar de intensidade).

A seguir, serão estimadas as médias e desvios-padrão dos minutos semanais de atividades físicas a partir das duas propostas de ponto de corte. Após isso, serão realizadas comparações entre as médias de tempo em minutos de comportamento sedentário, atividade física leve, moderada e vigorosa conforme as duas propostas de ponto de corte, utilizando o teste estatístico *Anova* para distribuição simétrica ou *Mann-Whitney U test* e *Kruskal-Wallis* em caso de distribuição assimétrica do desfecho.

5.3.2.7. Aspectos éticos

Como já foi mencionado anteriormente, este artigo utilizará dados de dois estudos diferentes. Todos os acompanhamentos da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 1982 já foram submetidos e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da UFPel.

5.4. Cronograma

A coleta das informações de acelerometria que serão utilizadas na elaboração do artigo 3 já foram coletadas. No entanto, a coleta das informações relativas ao artigo 2 está prevista para o próximo ano, tendo início em fevereiro e término em abril de 2015.

Desde o mês de junho de 2014, participo do estudo da Coorte de Nascimentos de Pelotas de 2015 na condição de supervisor da coleta dos dados de acelerometria, correspondentes ao acompanhamento do pré-natal. Ao final da coleta destes dados, prevista para setembro de 2015, pretendo realizar um estágio de doutorado de seis meses na Universidade de Cambridge, Reino Unido, e após o retorno deste estágio finalizar a tese em julho de 2016. No Quadro 7 está apresentado o cronograma das etapas relacionadas a este projeto.

Quadro 7 – Cronograma de atividades.

	2013											2014											2015											2016								
Etapas	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	
Revisão da literatura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Qualificação do projeto																			■																							
Trabalho de campo																																■	■	■	■							
Estágio de doutorado																																							■	■	■	■
Análise dos dados																																									■	■
Escrita do artigo de revisão sistemática	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Escrita dos artigos originais																																									■	■
Defesa da tese																																									■	

5.5. Divulgação dos resultados

Os resultados serão divulgados em diferentes veículos de comunicação, objetivando com isso tornar acessível à sociedade os resultados obtidos a partir deste projeto de doutorado. Os artigos científicos serão publicados em periódicos indexados nacionais ou internacionais. Os resultados produzidos serão ainda divulgados na imprensa local através de um comunicado à imprensa, com uma linguagem acessível aos leigos sobre o tema deste projeto.

6. Referências

1. Hallal PC, Andersen LB, Bull FC, et al. Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *The Lancet*. 2012;380(9838):247-57.
2. Bauman AE, Reis RS, Sallis JF, et al. Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not? *The Lancet*. 2012;380(9838):258-71.
3. Kohl 3rd HW, Craig CL, Lambert EV, et al. The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *The Lancet*. 2012;380(9838):294-305.
4. Hildebrand M, Van Hees Vt Fau - Hansen BH, Hansen Bh Fau - Ekelund U, et al. Age-Group Comparability of Raw Accelerometer Output from Wrist- and Hip-Worn Monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2014;46(9):1816-24.
5. Reis RS, Petroski EL, Lopes AS. Medidas da Atividade Física: Revisão de Métodos. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*. 2000;2(1):89-96.
6. Cafruni CB, Valadão RCD, Mello ED. Como Avaliar a Atividade Física? *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*. 2012;10(33):61-71.
7. Vanhees L, Lefevre J, Philippaerts R, et al. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*. 2005;12(2):102-14.
8. Hallal PC, Reichert FF, Clark VL, et al. Energy Expenditure Compared to Physical Activity Measured by Accelerometry and Self-Report in Adolescents: A Validation Study. *PLoS ONE*. 2013;8(11):1-7.
9. Yang CC, Hsu YL. A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring. *Sensors*. 2010;10(8):7772-88.

10. Chen KY, Bassett DR. The Technology of Accelerometry-Based Activity Monitors: Current and Future. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005;37(11):490-500.
11. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical Activity, Exercise, and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports*. 1985;100(2):126-31.
12. Hallal PC, Dumith Sde C, Bastos JP, et al. Evolução da pesquisa epidemiológica em atividade física no Brasil: revisão sistemática. *Revista de Saúde Pública*. 2007;41(3):453-60.
13. Dumith SC. Atividade física no Brasil: uma revisão sistemática. *Caderno de Saúde Pública*. 2009;25(3):415-26.
14. Craig CL, Marshall AL, Sjostrom M, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003;35(8):1381-95.
15. Hallal PC, Gomez LF, Parra DC, et al. Lessons learned after 10 years of IPAQ use in Brazil and Colombia. *Journal of Physical Activity and Health*. 2010;7(2):259-64.
16. Herrmann SD, Heumann KJ, Der Ananian CA, et al. Validity and Reliability of the Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2013;17(3):221-35.
17. Armstrong T, Bull F. Development of the World Health Organization Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *J Public Health*. 2006;14(2):66-70.
18. Bull FC, Maslin TS, Armstrong T. Global physical activity questionnaire (GPAQ): nine country reliability and validity study. *Journal of Physical Activity and Health*. 2009;6(6):790-804.
19. Trinh O, Nguyen N, Dibley M, et al. The prevalence and correlates of physical inactivity among adults in Ho Chi Minh City. *BMC Public Health*. 2008;8(1):204.
20. Hallal PC, Victora CG, Wells JCK, et al. Physical Inactivity: Prevalence and Associated Variables in Brazilian Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2003;35(11):1894-900.
21. Macniven R, Bauman A, Abouzeid M. A review of population-based prevalence studies of physical activity in adults in the Asia-Pacific region. *BMC Public Health*. 2012;12(1):41.

22. Bouchard C, Tremblay A, Leblanc C, et al. A method to assess energy expenditure in children and adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1983;37(3):461-7.
23. Diener JRC. Calorimetria indireta. *Revista da Associação Médica Brasileira*. 1997;43:245-53.
24. Scagliusi FB, Lancha Júnior AH. Estudo do gasto energético por meio da água duplamente marcada: fundamentos, utilização e aplicações. *Revista de Nutrição*. 2005;18:541-51.
25. Lagerros Y, Lagiou P. Assessment of physical activity and energy expenditure in epidemiological research of chronic diseases. *European Journal of Epidemiology*. 2007;22(6):353-62.
26. Brown DK, Grimwade D, Martinez-Bussion D, et al. The Validity of the ActiPed for Physical Activity Monitoring. *International Journal of Sports Medicine*. 2013;34(05):431-7.
27. Trost SG. Objective Measurement of Physical Activity in Youth: Current Issues, Future Directions. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2001;29(1):32-6.
28. Trost SG, McIver KL, Pate RR. Conducting accelerometer-based activity assessments in field based research. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005;37(11):531-43.
29. Kavanagh JJ, Menz HB. Accelerometry: A technique for quantifying movement patterns during walking. *Gait & Posture*. 2008;28(1):1-15.
30. Romanzini M, Petroski EL, Reichert FF. Limiares de acelerômetros para a estimativa da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*. 2012;14(1):101-13.
31. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1982;14(5):377-81.
32. Marcora S. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. *Journal of Applied Physiology*. 2009;106(6):2060-2.
33. Pereira G, Souza DM, Reichert FF, et al. Evolução dos conceitos e mecanismos da percepção de esforço: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. 2014;16(5):579-87.

34. Borg GA. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 1970;2:92-8.
35. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1993;25(1):71-80.
36. Pate RR, Pratt M, Blair SN, et al. Physical activity and public health: A recommendation from the centers for disease control and prevention and the american college of sports medicine. *JAMA*. 1995;273(5):402-7.
37. Brown DK, Grimwade D, Martinez-Bussion D, et al. The validity of the ActiPed for physical activity monitoring. *Int J Sports Med*. 2013;34(5):431-7.
38. Aadland E, Steene-Johannessen J. The use of individual cut points from treadmill walking to assess free-living moderate to vigorous physical activity in obese subjects by accelerometry: is it useful? *BMC Med Res Methodol*. 2012;12:172.
39. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, et al. Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007;39(8):1423-34.
40. Rothney MP, Brychta RJ, Meade NN, et al. Validation of the ActiGraph two-regression model for predicting energy expenditure. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010;42(9):1785-92.
41. Sasaki JE, John D, Freedson PS. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2011;14(5):411-6.
42. Esliger DW, Rowlands AV, Hurst TL, et al. Validation of the GENEActiv Accelerometer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2011;43(6):1085-93.
43. Rowlands AV, Thomas PW, Eston RG, et al. Validation of the RT3 triaxial accelerometer for the assessment of physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004;36(3):518-24.
44. Santos-Lozano A, Santín-Medeiros F, Cardon G, et al. Actigraph GT3X: Validation and Determination of Physical Activity Intensity Cut Points. *International Journal of Sports Medicine*. 2013;34(11):975-82.
45. Reilly JJ, Penpraze V, Hislop J, et al. Objective measurement of physical activity and sedentary behaviour: review with new data. *Archives of Disease in Childhood*. 2008;93(7):614-9.

46. Shephard RJ. Qualified Fitness and Exercise as Professionals and Exercise Prescription: Evolution of the PAR-Q and Canadian Aerobic Fitness Test. *Journal of Physical Activity and Health*. 2015;12(4):454-61.
47. Guedes DP, Guedes JERP. **Manual prático para avaliação física para educação física**. São Paulo: Manole; 2006.
48. Marins JCB, Giannichi RS. **Avaliação e prescrição de atividade física: guia prático**. São Paulo: Shape; 1998.
49. Carnaval PE. **Medidas e avaliação em ciências do esporte**. 2ed. Rio de Janeiro: Sprint; 1997.
50. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7):1334-59.
51. Wahrlich V, Anjos LA, Going SB, et al. Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate. *Clinical Nutrition*. 2006;25(4):687-92.
52. Barros FC, Victora CG, Horta BL, et al. Metodologia do estudo da coorte de nascimentos de 1982 a 2004-5, Pelotas, RS. *Revista de Saúde Pública*. 2008;42(2):7-15.
53. Victora CG, Hallal PC, Araújo CL, et al. Cohort Profile: The 1993 Pelotas (Brazil) Birth Cohort Study. *International Journal of Epidemiology*. 2008;37(4):704-9.

Anexo 1

Nome: _____

Data de Nascimento: ___/___/___

Idade: ___ anos Sexo: () M () F

Profissão: _____

Telefone Fixo: _____

Telefone Celular: _____

Endereço: _____

Questionário para Avaliação de Prontidão para Atividade Física (PAR-Q)

1 - Alguma vez um médico lhe disse que você possui um problema do coração e recomendou que só fizesse atividade física sob supervisão médica?

() SIM () NÃO

2 - Você sente dor no peito causada pela prática de atividade física?

() SIM () NÃO

3 - Você sentiu dor no peito no último mês?

() SIM () NÃO

4 - Você tende a perder a consciência ou cair, como resultado de tontura?

() SIM () NÃO

5 - Você tem algum problema ósseo ou muscular que poderia ser agravado com a prática de atividade física?

() SIM () NÃO

6 - Algum médico já recomendou o uso de medicamentos para a sua pressão arterial ou condição cardiovascular?

() SIM () NÃO

7 - Você tem consciência, através da sua própria experiência ou aconselhamento médico, de alguma outra razão física que impeça sua prática de atividade física sem supervisão médica?

SIM NÃO

Data da Avaliação: ___/___/___

Professor Responsável: _____

Assinatura



Anexo 2



Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia
Departamento de Medicina Social
Faculdade de Medicina
Universidade Federal de Pelotas

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, Márcio de Almeida Mendes, doutorando do Programa de Pós-graduação em Epidemiologia da Universidade Federal de Pelotas, gostaria de convidar o(a) Sr(a) para participar, como voluntário, desta pesquisa sobre avaliação da atividade física através de acelerômetros, aderindo a um protocolo de atividades físicas.

Este protocolo consistirá na realização de dez diferentes atividades físicas (ficar deitado; ficar sentado; falar ao celular em pé; tirar os sapatos, em pé, mover oito objetos em uma estante, escrever uma mensagem no celular e sentar-se; caminhar devagar na esteira; caminhar rápido na esteira; caminhar rápido na esteira, alternando com a atividade de subir e descer de um degrau; correr na esteira; caminhar rápido fora da esteira; corrida fora da esteira).

Haverá ainda um sorteio entre os participantes do estudo em que os sorteados serão convidados a realizarem, além das atividades recém mencionadas, um teste incremental máximo em uma bicicleta ergométrica para estimativa do consumo máximo de oxigênio.

Durante as atividades, a quantidade de movimentos realizados pelo o(a) Sr(a) será registrada por meio de quatro acelerômetros, dois fixados no pulso e outros dois na cintura, e a quantidade de ar inspirado e expirado será analisada por um dispositivo no formato de bocal fixado em sua face. Será também solicitado ao(a) Sr(a) o relato da sua percepção de esforço em relação a cada atividade praticada.

Suas medidas terão caráter sigiloso, identificadas por um número, guardadas com segurança e utilizadas exclusivamente para fins de análise científica. Somente

terão acesso a elas os pesquisadores envolvidos neste estudo. Os resultados das análises realizadas neste estudo poderão ser acessados por meio de publicações científicas, nos jornais locais e no *web site* oficial do Centro de Pesquisas Epidemiológicas: <http://www.epidemiologia-ufpel.org.br>.

Caso concorde em participar do estudo, solicitamos a gentileza de assinar o termo em duas vias: uma delas é sua e a outra ficará com o pesquisador responsável. Em caso de recusa, o(a) Sr(a). não será penalizado(a) de forma alguma. Para outros esclarecimentos ou dúvidas, estaremos à sua disposição através do telefone (53) 91281997 ou (53) 81245221, onde deverá ser contatado o pesquisador responsável. O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas pode também ser contatado pelo telefone 32844900 ramal 312.

Professora Elaine Tomasi

Professor Felipe Fossati Reichert

Doutorando Márcio de Almeida Mendes

Eu, _____ fui esclarecido(a) em relação à pesquisa sobre avaliação da atividade física através de acelerômetros em adultos da cidade de Pelotas e concordo que os dados fornecidos sejam utilizados na realização da mesma.

Pelotas, ____ de _____ de 2015.

Assinatura: _____.

Rua Marechal Deodoro, nº 1160 - 3º piso - CEP 96020-220- Pelotas/RS. Fone (053) 32841300 ramal (377).

SEÇÃO 2. ALTERAÇÕES NO PROJETO DE PESQUISA

Alterações do projeto de pesquisa

Estava previsto o uso dos dados de acelerometria, coletados com acelerômetros da marca GENEActiv, do Estudo de Coorte de Nascimentos de Pelotas – 1982 (acompanhamento aos 30 anos). No entanto, foi decidido utilizar os dados, coletados com acelerômetros da marca Actigraph, do Estudo de Coorte de Nascimentos de Pelotas – 1993 (acompanhamento aos 23 anos), devido a este último modelo de acelerômetro ser utilizado com maior frequência na literatura e por permitir maior flexibilidade nas análises (análises de dados brutos ou em counts).

Como o estudo de calibração realizado na ESEF-UFPEL foi realizado com uma amostra de participantes com idades entre 20 e 60 anos, conseqüentemente os pontos de corte originados se aplicam a população de adultos em geral. Desta maneira, a substituição dos dados da Coorte de 1982 pelos dados da Coorte de 1993 não implicou em alterações no objetivo geral do terceiro artigo.

Por fim, em relação às análises dos artigos 2 e 3, não foram utilizadas categorias de intensidade baseadas na PSE como medida critério. Para esta finalidade de análise, foram utilizadas apenas nestes artigos categorias de intensidade em METs e baseadas em %VO₂max.

SEÇÃO 3. RELATÓRIO DO TRABALHO DE CAMPO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

FACULDADE DE MEDICINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EPIDEMIOLOGIA

Relatório do Estudo de Calibração em Acelerometria

MÁRCIO DE ALMEIDA MENDES

Pelotas, RS

Outubro de 2016

Aspectos éticos

O projeto deste estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Pelotas – UFPel e aprovado sob o número 1.258.787/2015. Todos os sujeitos que concordaram em participar assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, sendo garantido a todos o direito de abandonar o estudo a qualquer momento e à confidencialidade dos dados.

Equipe

A equipe foi composta pelas seguintes pessoas:

- Coordenadores dos estudo:
 - Márcio de Almeida Mendes (doutorando responsável por esta tese);
 - Inácio Crochemore Mohnsam da Silva (professor coorientador);
 - Virgílio Viana Ramires (professor coorientador);
 - Felipe Fossati Reichert (professor coorientador);
 - Elaine Tomasi (professora orientadora).

- Colaboradores:
 - Rafaela Costa Martins, responsável pela seleção da amostra e agendamentos das visitas ao local onde ocorreram a coleta dos dados;
 - Rodrigo Wiltgen, responsável pela execução dos protocolos de coleta dos dados.

Participaram ainda como colaboradores (sob a coordenação do responsável pela coleta de dados), alunos de graduação da Escola Superior de Educação Física (ESEF) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), matriculados na Prática de Componente Curricular (PCC) “Acelerometria”.

Execução do trabalho de campo

Antes de iniciar a coleta dos dados, foi realizado um estudo piloto para testar a realização do estudo como um todo e identificar possíveis procedimentos a serem ajustados. O estudo piloto ocorreu no Laboratório de Fisiologia do Exercício e

Bioquímica (Labfex) da ESEF– UFPel, tendo início no dia 01/03/2016 e finalizado no dia 18/03/2016.

Após avaliação do estudo piloto, no dia 31/03/2016 (no mesmo laboratório) foi iniciada a coleta dos dados, sendo finalizada no dia 07/10/2016.

Seleção da amostra

- Elegíveis

Foram convidados a participar do estudo 112 adultos, selecionados por conveniência. Os coordenadores, ao convidar os indivíduos para participar do estudo, passavam um contato desta pessoa para a Rafaela (responsável pelos agendamentos). Depois disso, a responsável pelos agendamentos ligava para as pessoas interessadas em participar. Durante essa ligação, era explicado com maiores detalhes o objetivo do estudo, bem como era checada a elegibilidade dos interessados. A Rafaela foi ainda responsável por direcionar aos coordenadores os perfis de pessoas a serem convidadas para o estudo, com intuito de garantir uma heterogeneidade em termos de sexo, idade e prática habitual de atividade física.

- Critérios de exclusão

Durante a ligação telefônica a todos os interessados em participar do estudo, foi aplicado um questionário com oito perguntas, adaptado do *Physical Activity Readiness Questionnaire* (PAR-Q)¹, para avaliar a prontidão à prática de atividade física. Foram excluídos todos os voluntários com pelo menos uma resposta positiva no PAR-Q, com relato de condições crônicas como, por exemplo, doenças cardiovasculares, diabetes ou doenças pulmonares.

Agendamentos das visitas

A disponibilidade do Labfex para a coleta de dados foi nos seguintes dias e horários:

- Segunda-feira – 8 às 20 horas;
- Terça-feira – 12 às 22 horas;
- Quarta-feira – 12 às 22 horas;
- Quinta-feira – 12 às 22 horas;
- Sexta-feira – 8 às 22 horas;
- Sábado – 8h às 10 horas.

Durante o contato telefônico para avaliação da elegibilidade, caso os voluntários fossem considerados elegíveis após a aplicação do PAR-Q, a Rafaela já efetuava também o agendamento das visitas ao Labfex.

As planilhas, em formato *Excel*, com os horários agendados e o restante de informações a respeito do andamento do campo eram atualizadas pela Rafaela e compartilhadas com os demais (coordenadores e colaboradores) através do programa de computador *Dropbox*.

Coleta dos dados

A coleta dos dados ocorreu em duas visitas ao Laboratório de Fisiologia e Bioquímica do Exercício da UFPel. As visitas ocorreram com intervalo máximo de 10 dias e antes de cada visita os participantes foram instruídos a abster-se de praticar atividades físicas vigorosas e a não ingerir alimentos no período de duas horas que antecederiam os testes.

Primeira visita

Na primeira visita, os participantes realizaram um teste de consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) por meio de um protocolo adaptado de Balke ², em um ciclo ergômetro. Antes da realização do teste, foi aferida a massa corporal dos participantes através de uma balança eletrônica *Soehnle Professional 7755*[®] e a estatura através de um estadiômetro *Stardard Sanny*[®]. Estas duas medidas foram realizadas com os indivíduos descalços e utilizando roupas leves (camiseta e bermuda). Para os homens os testes foram iniciados com um aquecimento de 3 minutos a 100 *watts*, após o aquecimento a carga foi aumentada para 150 *watts*, sendo incrementada em 25 *watts* a cada minuto até a exaustão. Entre as mulheres, houve um aquecimento com duração de 3 minutos a 50 *watts*, após o aquecimento a carga foi aumentada para 100 *watts*, sendo incrementada em 15 *watts* a cada minuto até a exaustão. Para ambos os sexos, durante a realização dos testes os indivíduos foram orientados a pedalar mantendo uma frequência mínima de 60 rotações por minuto (rpm). O consumo de oxigênio foi mensurado continuamente através do analisador de gases *VO2000*^{® 3} (uma medida a cada três trocas gasosas). O teste foi considerado máximo quando o valor de *respiratory exchange ratio* (RER) ultrapassou o valor de 1,1. A frequência cardíaca foi mensurada através de um cardiofrequencímetro *Polar V800*[®]. Para os participantes com idade igual ou

maior que 45 anos foi estimada a frequência cardíaca máxima (FCmax) através da equação $FC_{max} = 208 - (0,7 \cdot \text{idade})$ ⁴. O teste de VO_2 max deveria ser interrompido caso os participantes atingissem a FCmax estimada (situação que não aconteceu durante o trabalho de campo).



Segunda visita

Na segunda visita, os participantes foram submetidos a um protocolo de nove atividades estruturadas, baseadas em atividades da vida diária (Quadro 1), adaptadas de um estudo de calibração em acelerometria ⁵. A nona atividade, a mais intensa delas, foi opcional, sendo realizada conforme a condição física dos participantes. Cada atividade foi realizada por cinco minutos, exceto a primeira, em que os indivíduos permaneceram deitados durante 10 minutos. Da primeira à oitava atividade houve entre elas intervalos de dois minutos. Em virtude do incremento na intensidade, antes da nona atividade foi adotado um intervalo de cinco minutos. Durante o protocolo de atividades, os participantes usaram seis acelerômetros, três ActiGraph GT3X+ (ActiGraph, Pensacola, FL) e três GENEActiv (ActivInsights Ltd., Kimbolton, Cambridgeshire, United Kingdom). Ambas as marcas permitem medir aceleração dos movimentos corporais em três eixos. Os acelerômetros foram fixados, um de cada marca, no lado direito do quadril (linha axilar média) e nos pulsos esquerdo e direito (linha dorsal média entre os processos estiloide radial e

ulnar). O consumo de oxigênio foi mensurado usando o mesmo método da primeira visita.



Os acelerômetros da marca ActiGraph pertenciam ao Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia (PPGE) – UFPel. Os acelerômetros da marca GENEActiv foram emprestados pelo grupo de pesquisa MRC Epidemiology Unit da Universidade de Cambridge – Inglaterra. O restante dos instrumentos foram cedidos pela ESEF – UFPel.

Programação dos acelerômetros

Os acelerômetros foram programados para registrar os sinais brutos de aceleração sob uma frequência de mensuração de 60 Hz. O download dos dados foi realizado através do ActiLife *software*, versão 6.13.3 e GENEActiv *software*, versão 3.1. As mensurações foram convertidas em sinais de aceleração unidirecionais, sendo definidas como vetor magnitude de aceleração (VM) e calculadas a partir da raiz quadrada da soma dos valores nos eixos, horizontal (x), vertical (y) e anteroposterior (z) elevados ao quadrado e subtraindo o valor de aceleração constante da gravidade (1g, sendo este valor equivalente a $9,81 \text{ m/s}^2$) ($\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - 1g$). Esta definição foi publicada previamente por van Hees et al ⁶ e denominada como *Euclidean norm minus one* (ENMO). Após a transformação dos sinais tri-axiais de aceleração em VM, foi calculada a média destes valores sob janelas de *epoch* de um segundo. Todo o processamento de resumo dos dados

brutos de aceleração, bem como de filtragem das informações como, por exemplo, exclusão do tempo de não uso foi realizado através do pacote estatístico GGIR no *software* R (<http://cran.r-project.org/>)^{6,7}.

Armazenamento dos dados:

Ao final de cada visita, os dados de consumo de oxigênio e de acelerometria eram imediatamente armazenados no computador, sendo realizados também dois *backup* (um no *Dropbox* e outro em um *pendrive*). As informações restantes (sexo, idade, cor da pele, peso, altura, mão dominante e FCmax) eram anotadas em folhas com os campos específicos a serem preenchidos (Anexo 1) e posteriormente digitadas em uma planilha no formato *Excel*.

Perdas

Dos 112 participantes que realizaram a primeira visita, nove informaram que não iriam comparecer para a segunda visita. Destes, dois se lesionaram e permaneceram assim até o término da coleta de dados; três viajaram e só voltaram após o término do estudo; quatro não compareceram no dia marcado para a segunda visita e depois disso não conseguimos mais contatos para realizar os reagendamentos.

Referências

1. Shephard RJ. Qualified Fitness and Exercise as Professionals and Exercise Prescription: Evolution of the PAR-Q and Canadian Aerobic Fitness Test. *Journal of Physical Activity and Health* 2015;12(4):454-461.
2. Ayabe M, Kumahara H, Morimura K, et al. Epoch length and the physical activity bout analysis: an accelerometry research issue. *BMC Res Notes* 2013;6:20.
3. Wahrlich V, Anjos LA, Going SB, et al. Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate. *Clinical Nutrition* 2006;25(4):687-692.
4. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 2001;37(1):153-156.

5. Hildebrand M, Van Hees Vt Fau - Hansen BH, Hansen Bh Fau - Ekelund U, et al. Age-Group Comparability of Raw Accelerometer Output from Wrist- and Hip-Worn Monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2014;46(9):1816-1824.
6. van Hees VT, Gorzelniak L, Dean Leon EC, et al. Separating movement and gravity components in an acceleration signal and implications for the assessment of human daily physical activity. *PLoS One* 2013;8(4):e61691.
7. Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 2008. Washington, DC: U.S.: Department of Health and Human Services, 2008.

Quadro 1 – Descrição das atividades.

Ordem	Atividade (minutos)	Descrição
1 ^a	Deitado (10')	Permaneceram deitados em posição supinada com os braços ao lado do corpo.
2 ^a	Sentado (5')	Permaneceram sentados em uma cadeira, usando o computador.
3 ^a	Em pé (5')	Permaneceram em pé, manuseando um celular.
4 ^a	Circuito (5')	Iniciaram sentados, colocando os sapatos, depois em pé, moveram oito objetos em uma mesa, e por último, escreveram uma mensagem no celular. Repetiram até completar o tempo total de atividade.
5 ^a	Caminhada devagar, 3 km·h ⁻¹ (5')	Caminharam na esteira.
6 ^a	Caminhada rápida, 6 km·h ⁻¹ (5')	Caminharam na esteira.
7 ^a	Step (5')	No início do minuto dois e quatro, subiram em um degrau de 20 cm de altura e desceram dele por 30 vezes. No restante do tempo, caminharam na esteira a 6 km·h ⁻¹ .
8 ^a	Corrida 8 km·h ⁻¹ (5')	Correram na esteira.
9 ^a	Corrida intervalada, 10 km·h ⁻¹ (5')	Caminharam durante 30 segundos a 6 km·h ⁻¹ , alternando com 30 segundos de corrida a 10 km·h ⁻¹ na esteira.

ANEXO 1

Nome: _____ ID: _____

Data: ____/____/____ Data de nascimento: ____/____/____

Sexo: _____ Idade: _____

() Masculino () Feminino

Peso: _____ Altura: _____

Cor da pele (observada):

() Branca () Amarela () Vermelha () Parda () Preta

Máscara do Vo2000: () Pequena () Média () Grande

Estágios	Estágio alcançado	Frequência Cardíaca max	Vo2max
1º			
2º			
3º			
4º			
5º			
6º			
7º			
8º			
9º			

Aptidão física conforme sexo e idade:

() Muito ruim () Ruim () Regular () Boa () Excelente

FC max = $208 - 0,7 \times \text{idade} =$ _____



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

FACULDADE DE MEDICINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EPIDEMIOLOGIA

Acompanhamento 22 anos – Coorte 1993

Relatório acelerometria

Pelotas, RS

Julho de 2016

1. Acelerometria

A mensuração objetiva de atividade física durante o acompanhamento dos 22 anos da Coorte de 1993 foi realizada por meio da utilização de acelerômetros. Estes equipamentos eram responsáveis pela captação de movimentos corporais para estimar os padrões de atividade física dos participantes. A acelerometria envolve todos os procedimentos desta coleta de dados.

2. Equipe

O projeto tem como coordenadores: Prof.^a Ana Menezes, Prof. Fernando C. Whermeister, Prof.^a Helen Gonçalves, Prof.^a Maria Cecília Assunção, Prof.^a Luciana Tovo Rodrigues e Prof. Joseph Murray, do Programa de Pós-graduação em Epidemiologia da Universidade Federal de Pelotas.

A coleta com acelerometria foi conduzida pelos funcionários Christian Lourenço e Bruno Iorio Könsgen e a retirada dos acelerômetros por Lindomar Almeida Pires e Andrei Lieven, ambas funções foram desempenhadas sob a coordenação da doutoranda Andrea Wendt e Prof. Inácio Crochemore Mohnsam da Silva.

Os funcionários Christian Lourenço e Bruno Könsgen recebiam mensalmente uma bolsa da Associação Brasileira de Saúde Coletiva e do Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico (modalidade DTI-C) respectivamente? E os funcionários responsáveis pelas coletas, recebiam de acordo com o número de acelerômetros recolhidos. A bolsa recebida por Christian Lourenço era de R\$ 2.400,00 e por Bruno Könsgen de R\$ 1.100,00. O valor pago aos funcionários Andrei Lieven e Lindomar Almeida por cada acelerômetro recolhido era de R\$ 7,00.

3. Acelerômetro

Os acelerômetros utilizados neste trabalho de campo foram da marca *ActiGraph*, modelos *wGT3X-BT*, *wGT3X* e *ActiSleep* (Figura 1a). Todos modelos desempenham as mesmas funções. Durante o acompanhamento estavam disponíveis no total 476 acelerômetros (Figura 1b). No entanto, semanalmente, em média eram utilizados 25 acelerômetros. A preparação dos acelerômetros foi

realizada através do *software Actilife 6.13.2*, assim como a conferência inicial dos dados (descrito no item “dados válidos” e “controle de qualidade”).



(A)



(B)

Figura 2. Acelerômetro *ActiGraph* – modelo *wGT3X-BT*.

3.1. Programação dos acelerômetros

Os aparelhos eram programados para captar dados a partir da zero hora do dia posterior ao dia de colocação até a zero hora do dia de coleta, totalizando seis dias completos de captação de dados. Por exemplo: se a colocação estava agendada para quarta-feira, o acelerômetro era programado para captar dados da zero hora de quinta-feira até a zero hora da quarta-feira da semana seguinte. Os acelerômetros eram preparados para captar os dados com uma frequência de detalhamento das informações de 60Hz. Para identificação dos dados e registro dos usuários, eram usadas na preparação do acelerômetro as seguintes informações: (a) número identificador da Coorte e (b) primeiro nome e as iniciais do sobrenome. Além destas práticas, cabe ressaltar que para a preparação dos acelerômetros a bateria dos mesmos eram carregadas até 100% de sua capacidade antes de serem acionados.

3.2. *Download* e armazenamento dos dados

Ao fazer *download* dos dados, cada dado era armazenado em dois formatos distintos, *AGD* e *GT3X*. Os arquivos em formato *AGD* eram gerados com uma *epoch* de cinco segundos.

Havia um computador específico para efetuar o *download* dos dados, sendo os arquivos gerados e armazenados nesta máquina e no serviço de armazenamento e partilha de arquivos Dropbox®.

4. Logística da coleta de dados

4.1. Rotina de colocação e retirada dos acelerômetros

Todos os participantes da Coorte de 1993 foram convidados a visitarem a clínica onde ocorreu o acompanhamento dos 22 anos. Chegando no local, era realizada a atualização do cadastro dos indivíduos, entrevista com questionários, exames e por fim colocação dos acelerômetros. A partir do momento que o participante chegava na clínica e efetuava o cadastro, todas as informações sobre o andamento do seu acompanhamento eram informadas em tempo real no programa REDCap. Dessa forma, os funcionários da acelerometria tinham as informações necessárias para programação dos aparelhos.

Na saída da clínica, os recepcionistas eram responsáveis pela tarefa de colocar o acelerômetro nos participantes e instruí-los quanto ao uso adequado. Neste momento era perguntado ao participante o melhor turno para coleta do aparelho e em qual endereço esta deveria ser feita. Estas informações eram então digitadas no REDCap, assim como o número do acelerômetro que o indivíduo utilizaria (para maior controle da equipe responsável).

Os funcionários da acelerometria então atualizavam todas as informações em uma planilha de Excel onde realizavam todo o controle.

Esta era a logística mais comum. Algumas exceções ocorriam quando o participante excepcionalmente não poderia colocar o acelerômetro na semana que visitou a clínica ou em casos de dado insuficiente (ver item 5). Isto ocasionava uma pendência. Nestes casos, em outro momento o participante recebia uma ligação para agendar um horário em que o acelerômetro pudesse ser levado em sua casa para colocação. Nesta situação, a colocação era feita por meio dos mesmos funcionários que coletavam os aparelhos de outros participantes.

4.1.1. Colocação dos acelerômetros

As instruções de uso do acelerômetro e o dia marcado para coleta do aparelho foram sumarizados em uma folha que era repassada a todos os

participantes no momento de colocação (Anexo 1). Os recepcionistas eram instruídos a explicar objetivamente o que era, para que servia, como deveria ser o uso e quanto tempo deveria ser usado o acelerômetro. Ao explicar sobre sua utilização era repassado ao participante principalmente que o aparelho deveria ser utilizado por sete dias, sendo posicionado no centro da parte posterior do punho, com o 'botão' preto que protegia a entrada *USB* do aparelho voltado para mão (Figura 3). Devia ser sempre perguntado ao participante qual a mão que ele (a) costumava usar para escrever ou realizar a maioria das atividades, para então o acelerômetro ser colocado na mão não dominante do (a) participante. Ressaltava-se também a importância de não retirar o acelerômetro durante os sete dias (nem para tomar banho, nem para dormir, etc) e, caso o (a) participante precisasse retirar o aparelho por algum motivo, era solicitado que ele (a) o recolocasse o mesmo o mais rápido possível.

Algumas exceções ocorreram no final do trabalho de campo. Participantes que se recusaram a comparecer à clínica tiveram suas entrevistas realizadas à domicílio. Nas entrevistas domiciliares o monitor era colocado. Já nos casos de entrevistas por telefone, optou-se por não colocar o acelerômetro já que eram indivíduos que se negaram a receber a entrevistadora em casa.



Figura 3. Posição correta do acelerômetro para fixação ao pulso.

4.1.2. Coleta dos acelerômetros

Diariamente, no início da manhã, os funcionários responsáveis pelas colocações e retiradas dos acelerômetros, passavam na sala da acelerometria e recebiam uma planilha com nome, endereço e telefone dos participantes agendados para retirada dos aparelhos naquele dia. Neste momento, estes funcionários também deixavam os acelerômetros coletados no dia anterior para manejo dos dados. Estes acelerômetros coletados eram conectados no computador, sendo realizado o *download* dos dados, como mencionado no item anterior (Figura 4). Após *download* dos dados, isto era registrado na planilha de controle da acelerometria (em formato *Excel*), permitindo identificar quais participantes não precisavam mais ser contatados pela acelerometria.



Figura 4. Acelerômetros conectados para download dos dados.

5. Dados válidos

Ao fazer o *download* do dado, o *software* utilizado permitia ver quantos dias o (a) participante utilizou o acelerômetro. Para o dado ser considerado válido neste momento, o (a) participante tinha que ter mantido o aparelho fixado no pulso por no mínimo um período equivalente a três dias, do contrário o dado deste participante

precisaria ser novamente coletado. Nestes casos em que os acelerômetros retornavam com menos de três dias de uso, era realizado um novo contato telefônico com o (a) participante, explicando a necessidade de recolocação do aparelho. Caso o indivíduo não aceitasse recolocar, ele passava a ser contabilizado como perda.

6. Perdas e recusas

Eram consideradas como perda as seguintes situações:

- ✓ Participantes que o acelerômetro não tinha sido colocado no momento da entrevista e após este momento não se conseguiu mais contato;
- ✓ Participantes que colocaram o monitor mas este retornava com poucos dias de uso e após o recebimento do aparelho não conseguíamos recolocar o acelerômetro (por falta de contato ou por recusa);
- ✓ Participantes que os acelerômetros retornavam com poucos dias de uso, sendo recolocados, mas apresentando novamente poucos dias de uso.

7. Critérios de exclusão

Em todos acompanhamentos anteriores aos 22 anos eram considerados como critério de exclusão para esta etapa específica do estudo as gestantes (a) ter alguma limitação física ou mental que impeça o uso do monitor, (b) estar grávida, (c) que trabalhavam em locais onde não é permitido o uso de qualquer tipo de pulseira, relógios, etc (ex: algumas fábricas, padarias, etc), (d) não morar em Pelotas ou na zona rural do município. A partir do acompanhamento dos 22 anos (2015/2016), os coordenadores da Coorte de 1993 fizeram algumas revisões conceituais. Dessa forma os critérios anteriormente de exclusão, passaram a ser tratados como perda para os números totais da Coorte com exceção das gestantes e limitação física/mental.

8. Conferência periódica dos dados

Periodicamente se verificava o banco de dados da acelerometria juntamente com a planilha de controle. A partir dessa rotina eram identificados e corrigidos possíveis problemas na programação dos acelerômetros (acelerômetros programados para captar mais ou menos de sete dias) ou inconsistências no

número de participantes ou status da colocação. Semanalmente era realizado um monitoramento em relação ao número de elegíveis, dados coletados, acelerômetros em uso no momento, pendências de colocação, perdas e recusas.

9. Treinamento das entrevistadoras

O treinamento da equipe foi realizado final de setembro de 2015 e início do campo em outubro do mesmo ano.

O treinamento foi ministrado pela doutoranda responsável pela acelerometria da coorte de 1993.

Todos os detalhes para a colocação dos aparelhos foram informados, bem como todos os possíveis desafios que poderiam ser encontrados durante o campo. Sempre que ocorriam, dúvidas quanto à elegibilidade, eram repassadas a doutoranda que avaliava cada caso.

10. Período de coleta e encerramento do trabalho de campo

A coleta com acelerometria durante o acompanhamento dos 22 anos teve início em 10/10/2015 e foi finalizada em 28/07/2016. A coleta de dados de acelerometria foi finalizada, totalizando 3814 participantes com contato para tentativa de colocação de acelerômetro, 21 recusas, 291 perdas por trabalhar em local que não permite o uso do aparelho e morar na zona rural ou fora de Pelotas(*ver nova definição de conceitos: item 7- Critérios de Exclusão*), 147 perdas devido a entrevistas realizadas apenas por telefone, 77 perdas por não conseguir contato ou devido a não utilização do dispositivo pelo participante, 10 indivíduos com alguma limitação física/mental, 55 gestantes, 205 dados incompletos (utilização inferior a três dias) e 3008 dados de acelerômetro com pelo menos três dias de uso.

11. Processamento dos dados

Os dados brutos de 3008 participantes foram extraídos no software Actilife 6.1 gerando uma planilha (.csv) para cada indivíduo. Posteriormente, os dados brutos passaram por um processamento onde foram realizados procedimentos como filtragem de movimento não-humano, validação de tempo de uso, calibração, entre outros. O Processamento foi realizado no pacote estatístico R. Esse processo gerou plots de qualidade dos dados para cada um dos participantes.

Dos 3008 dados submetidos ao processamento 13 apresentaram problemas nesta fase não sendo possível a verificação dos filtros. Dos 2995 dados processados, 6 apresentaram problemas de qualidade após a inspeção visual dos plots de qualidade. Dos 2989 dados restantes, três apresentaram erro de calibração superior à 0,02 sendo assim, excluídos.

O banco final da acelerometria conta com 2896 dados.

Anexo 1



Universidade Federal de Pelotas
Faculdade de Medicina
Centro de Pesquisas Epidemiológicas
Coorte de Nascimentos de 2015



INSTRUÇÕES PARA USO DO MONITOR

Você está recebendo um monitor para utilizar no pulso por alguns dias. Esse aparelho mede a quantidade de **atividade física** realizada.

Por favor, não retire o aparelho em nenhum momento. Caso isso aconteça, você pode recolocar o aparelho no mesmo pulso (mão não dominante) com a tampinha do aparelho voltada para os dedos.

IMPORTANTE!!!

O monitor deve ser utilizado durante as 24 horas do dia, até mesmo para dormir e durante o banho.

Caso você tenha alguma dúvida quanto ao funcionamento do monitor ou queira mudar a DATA ou HORÁRIO de busca do monitor entre em contato conosco!

Responsável: Christian Lourenço

Telefone: 3284-1300 **Ramal:** 377

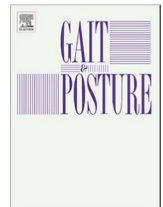
DATA COMBINADA PARA BUSCA DO ACELERÔMETRO:

Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb

Data de coleta: ____/____/____.

SEÇÃO 4. ARTIGO 1

(Artigo publicado no *Gait & Posture*)



Review

Calibration of raw accelerometer data to measure physical activity: A systematic review



Márcio de Almeida Mendes^{a,*}, Inácio C.M. da Silva^a, Virgílio V. Ramires^a, Felipe F. Reichert^b,
Rafaela C. Martins^a, Elaine Tomasi^{a,*}

^a Post-Graduate Program in Epidemiology, Federal University of Pelotas, Brazil

^b School of Physical Education, Federal University of Pelotas, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:

Physical activity
Accelerometry
Calibration study
Raw accelerometer data

ABSTRACT

Most of calibration studies based on accelerometry were developed using count-based analyses. In contrast, calibration studies based on raw acceleration signals are relatively recent and their evidences are incipient. The aim of the current study was to systematically review the literature in order to summarize methodological characteristics and results from raw data calibration studies. The review was conducted up to May 2017 using four databases: PubMed, Scopus, SPORTDiscus and Web of Science. Methodological quality of the included studies was evaluated using the Landis and Koch's guidelines. Initially, 1669 titles were identified and, after assessing titles, abstracts and full-articles, 20 studies were included. All studies were conducted in high-income countries, most of them with relatively small samples and specific population groups. Physical activity protocols were different among studies and the indirect calorimetry was the criterion measure mostly used. High mean values of sensitivity, specificity and accuracy from the intensity thresholds of cut-point-based studies were observed (93.7%, 91.9% and 95.8%, respectively). The most frequent statistical approach applied was machine learning-based modelling, in which the mean coefficient of determination was 0.70 to predict physical activity energy expenditure. Regarding the recognition of physical activity types, the mean values of accuracy for sedentary, household and locomotive activities were 82.9%, 55.4% and 89.7%, respectively. In conclusion, considering the construct of physical activity that each approach assesses, linear regression, machine-learning and cut-point-based approaches presented promising validity parameters.

1. Introduction

Questionnaires have historically been the main physical activity measurement instrument in epidemiological studies. However, accelerometers are currently a feasible alternative to objectively measure physical activity. Accelerometers are portable devices, which measure the acceleration from body movements in one, two or three axes: vertical (Y), horizontal right-left (X) and horizontal front-back axis (Z) [1].

The use of accelerometers entails advantages and disadvantages, as any other method of measurements of physical activity. Regarding the disadvantages, accelerometers do not indicate the context and the purpose of the physical activities. Furthermore, accelerometers are not valid to measure specific physical activities such as isometric activities, physical activities against a resistance force (e.g. strength exercises) and cycling [2]. However, the major source of overall physical activity energy expenditure (PAEE) is derived from dynamic physical activities (e.g. walking, running), and these activities are accurately measured by

accelerometers [2]. Data from accelerometers are also free of information bias introduced by interviewers or participants. The data are gathered by the devices at the exact moment in which the activities are taking place, providing a reliable physical activity measure in free-living conditions [2,3].

An important challenge regarding the use of accelerometers to measure physical activity lies in the interpretation of the signals provided by the devices, which need to be translated into measurements with biological and/or behavioral meaning. In this context, several calibration studies have been performed [4]. There are important methodological differences in calibration studies (e.g. sample sizes and characteristics, physical activity protocols and statistical approaches), which might influence the results of such studies. Accordingly, the accelerometer signal, which is one of the main variables analysed in these studies is not the same across studies. Some studies, notoriously the most recent ones, have analysed the signal as a gravitational equivalent (g , where $1g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$), whilst other analysed it as

* Correspondence to: Rua Marechal Deodoro, 1160, CEP: 96020-220, Pelotas, Brazil.

E-mail addresses: marciopenha.esef@yahoo.com.br (M. de Almeida Mendes), inacio_cms@yahoo.com.br (I.C.M. da Silva), virgiloramires@hotmail.com (V.V. Ramires), ffreichert@gmail.com (F.F. Reichert), rafamartins1@gmail.com (R.C. Martins), tomasiet@gmail.com (E. Tomasi).

counts. Direct comparison between count values from different accelerometer brands is limited, mainly because manufacturers use different undisclosed algorithms to define the acceleration outputs [5]. In contrast, analyses based on gravitational equivalent (raw data) are performed using open source packages and, therefore, provides more transparency and better comparability across studies.

More recently accelerometer data can be analysed using different acceleration signals, thus, a high number of calibration studies based on raw data have been carried out. In this context, it is crucial to understand how the raw signal from accelerometers has been translated into physical activity measures. Thus, the aim of this study was to systematically review the literature in order to summarize the methods and results from calibration studies based on raw accelerometer data to measure physical activity.

2. Methods

The systematic review was conducted up to May 30th 2017 using PubMed, Scopus, SPORTDiscus and Web of Science databases. The following terms were searched in abstracts and titles: [“(motor activity” OR “physical activity” OR “physical fitness” OR “physical exercise”) AND (“accelerometry” OR “accelerometer” OR “motion sensor”) AND (“calibration” OR “cut-off” OR “cut-point” OR “threshold” OR “validity” OR “validation”) AND (“raw acceleration” OR “raw data”)].

Only articles assessing raw acceleration signal and including healthy people were included. Articles in which the calibration was a secondary purpose were also eligible. Studies identifying only sedentary behavior thresholds were not considered.

Initially, all identified titles and abstracts were read by the first and third authors. In case of disagreement between them, all eligibility criteria were discussed. Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines were followed to conduct and describe all methodological process and reported results [6]. The following data were extracted from each study included in the review: place of publication, sample, accelerometer placement, accelerometer model, sample frequency and epoch (interval in which acceleration signals are summarized), activity protocol used for calibration, criterion measure, statistical approach applied, physical activity intensity thresholds and prediction equations of PAEE. Finally, the methodological quality of the included studies was evaluated using the Landis and Koch's guidelines [7].

3. Results

In total, 1669 articles were identified (23 references in PubMed, 19 in Scopus, 1590 in SPORTDiscus and 37 in Web of Science). After checking duplicate studies, 45 references were excluded and 1624 titles were considered eligible for reading. From the 1624, 180 titles were kept. After evaluating the abstracts, 79 articles remained. All 79 articles were read and 17 studies were considered eligible. The reference list from selected studies was checked and three articles were added, resulting in a total of 20 studies [8–27] (Fig. 1).

A detailed description of all studies included is available in Table 1. Studies were published between 1994 and 2017 and most of them were carried out in the United States of America (eight) and the remaining in a European country. Both sexes were included in all studies and there was no information regarding body composition and physical fitness in the studied samples. Eight studies were performed with children/adolescents and adults, eight exclusively with adults and three with children/adolescents. Regarding the studies with adults, only four of them presented age range greater than four decades. Studies with adolescents included participants from six to eighteen years old (Table 1).

The number of physical activities included in the protocols ranged from two to 23 and included a broad spectrum of intensity. Walking and running, as main components of PAEE, were included in 16 studies. Only four studies included physical activities practiced outside the

laboratory setting (see Supplementary Table S1 in the online version at DOI:10.1016/j.gaitpost.2017.12.028).

Table 1 indicates that most studies (15) placed the accelerometer on the waist of the participants, but it was also tested on other parts of the body (low back, wrist, foot, chest, waist, thigh and ankle).

Actigraph GT3X (nine studies) and GENEActiv (five studies) were the main accelerometers used. Other accelerometers used were: ICSensors 3031–010, 7164 Actigraph, IDEEA, GENE, Tracmor, DynaPort, Hookie AM13, Hookie AM20, GulfCoast X6-1A, MotionLogs and MICA2DOT (Table 1). Except for the 7164 Actigraph (1 axis), MICA2DOT and IDEEA (two axes), all other accelerometers collected body movements into three axes. The sampling frequency (number of measurements in each axis per second) varied from 10 to 100 Hz, and epoch lengths were analysed as one, five, six, 30 and 60 s (Table 1).

Regarding the studies in which the three-dimensional raw data were transformed into a single-dimensional signal vector magnitude (SVM) of acceleration, this conversion was performed using different metrics and the equation $SVM = \Sigma\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ is the most common metric adopted. Indirect calorimetry was the most widely used criterion measure (13 studies) (Table 1).

Among the studies using cut-point-based statistical approach, the mean values and standard deviation (\pm SD) of sensitivity, specificity and accuracy from the intensity thresholds were: 93.7% (\pm 7.0), 91.9% (\pm 9.6) and 95.8% (\pm 0.1), respectively. Values of sensitivity, specificity or accuracy were similar according to the different intensity thresholds and accelerometer placements. The values of accuracy ranged from 84% to 100% (Table 2).

Five studies used regression models to estimate PAEE. Four of these studies presented predictive equations, in which the mean value of coefficient of determination (R^2) was 0.79 (\pm 0.12) (Table 3).

Machine learning-based modelling to estimate PAEE and to recognize physical activity types was the calibration statistical approach most frequently applied (11 studies). Most of these studies used Artificial Neural Network technique to create their predictive models (seven studies). Among the predictive models for PAEE, the mean value of R^2 was 0.70 (\pm 0.11). Regarding predictive models for recognition of physical activity types, the mean values of accuracy for sedentary (e.g. lying down, sitting, standing), household (washing dishes, folding towels and stacking them nearby, vacuuming carpet) and locomotive (walking, cycling, running) activities were 82.9% (\pm 20.2), 55.4% (\pm 26.6) and 89.7% (\pm 11.2), respectively (Table 4).

4. Discussion

All articles found in this review were conducted in high-income countries and most of them had relatively small samples and specific population groups, with low variability in terms of individual characteristics. The sample composition from accelerometry calibration studies hinders the extrapolation of their results to other settings [4]. Greater heterogeneity is required regarding the characteristics such as age, body mass index and physical fitness. Future calibration studies using more representative samples of their target populations in terms of demographic and physiological characteristics would represent an important step forward.

Distinct physical activity protocols were applied in the included calibration studies and were summarized in the present review. Protocols including the whole spectrum of physical activity intensities (sedentary pursuits, low, moderate and vigorous activities) were identified and the number of physical activities performed varied across studies. It is important to highlight that the number of activities tested shall not affect the internal validity of the intensity thresholds or algorithms. Therefore, high accuracy in the prediction of PAEE might be found even in studies assessing few activities. In contrast, a low number of activities tested or the inclusion of activities that are rarely performed in free-living conditions by the target population could impair

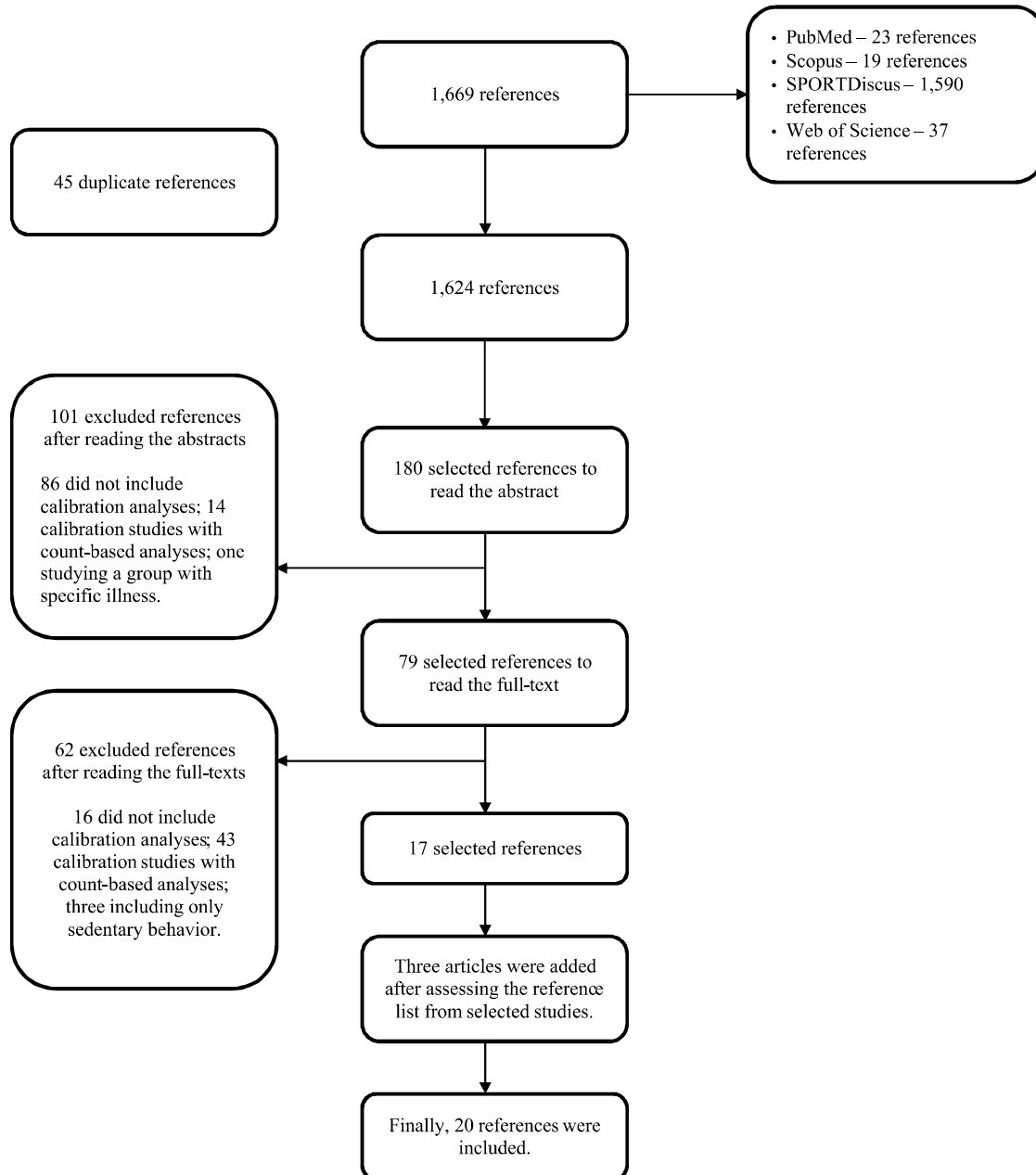


Fig. 1. Description of the search strategy process and results.

the generalization and application of such thresholds/algorithms to other settings [2,28].

Considering that accelerometer-based physical activity assessment is mostly implemented in epidemiological studies interested in habitual physical activity, protocols from accelerometry calibration studies should be as close as possible to free-living activities. However, physical activity protocols applied in controlled conditions (both indoor and outdoor) have been implementing a small increase in intensities and movement patterns [11,29]. In addition, in most studies, participants perform each activity for a reduced period of time, which probably does not accurately reflect daily physical activity patterns. As a result, the application of these intensity thresholds or algorithms developed under controlled conditions may lead to inaccurate estimates of physical activity in free-living [29]. Our results showed that some studies collected physical activity data outside the laboratory (semi-free-living) [10–12,20], however none of them in real-life conditions.

One of the main decisions to be made to design an accelerometer-

based study is the accelerometer placement. A study conducted by Rosenberger et al. [30], analyzing count-based acceleration signals, provided evidence that hip-worn accelerometer presents sedentary activity and physical activity measures more accurate than wrist-worn accelerometer. However, studies based on raw accelerometer data have shown different results. Wrist-worn accelerometers are able to provide accurate estimates regarding the activity type, PAEE, activity intensity similar to hip-worn devices [31]. In our review, which is restricted to raw data accelerometry, waist and wrist were the most frequently studied placements, and there was no evidence of any difference in the accuracy between them. Furthermore, other evidences have shown that raw acceleration signal based on placements such as thigh-worn accelerometers also provided accurate estimates of PAEE [21] and physical activity types [18,25].

In addition to validity parameters of physical activity measures, other aspects such as adherence to protocol (wear compliance) and research purpose (e.g. comparability between studies or previous data

Table 1
- Description of the methods and results from calibration studies based on raw accelerometer data.

Author(s); year; country	Sample	Brand; axes; sampling frequency; epoch; placement	Definition of signal vector magnitude of acceleration (SVM)	Criterion measure	Statistical approach
Bouten et al.; 1994; Netherlands [8].	11 subjects aged 21–27 years.	ICSensors 3031–010; 3; 100 Hz; 30 s; low back.	$SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$	Indirect calorimetry	Regression model
Rothney et al.; 2007; United States [9].	102 subjects aged 18–70 years.	7164 Actigraph and IDEEA; 1 and 2; 30 Hz; 60 s; waist, soles of the feet, thighs and upper sternum.	NA	Indirect calorimetry	Machine-learning algorithm
Esliger et al.; 2011; England [10].	60 subjects aged 40–65 years.	GENEA; 3; 80 Hz; 1 s; left wrist, right wrist and waist.	$SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - g$	Indirect calorimetry	ROC curve
Gyllenstein et al.; 2011; Netherlands [11].	20 subjects aged 22–51 years.	Tracmor and IDEEA; 3 and 2; 20 and 30 Hz; waist, soles of the feet, thighs and upper sternum.	NA	Acceleration signal pattern during each activity performed	Machine-learning algorithm
Zhang et al.; 2011; England [12].	60 subjects aged 40–65 years.	GENEA; 3; 80 Hz; left wrist, right wrist and waist.	$SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$	Indirect calorimetry	Machine-learning algorithm
Brandes et al.; 2012; Germany [13].	186 subjects aged 6 or more years.	DynaPort; 3; 100 Hz; low back.	$SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$	Indirect calorimetry	Regression model
Phillips et al.; 2013; England [14].	44 subjects aged 8–14 years.	GENEA; 3; 80 Hz; 1 s; left wrist, right wrist and waist.	$SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - g$	Indirect calorimetry	ROC curve
Bing He et al.; 2014; United States [15].	60 subjects (Mean age \pm standard deviate = 80.6 \pm 4.8)	Actigraph GT3X; 3; 80 Hz; left wrist, right wrist and waist.	NA	Acceleration signal pattern during each activity performed	Machine-learning algorithm
Hildebrand et al.; 2014; Norway [16].	30 subjects aged 7–65 years.	- GENEActiv and Actigraph GT3X; 3; 60 Hz; 1 s; non-dominant wrist and waist.	$SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - g$	Indirect calorimetry	Regression model
Schaefer et al.; 2014; United States [17].	24 subjects aged 6–11 years.	GENEA; 3; 75 Hz; 1 s; non-dominant wrist.	$SVM = \sum_{f=1}^f \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} / (f)$	Indirect calorimetry	ROC curve
Skotte et al.; 2014; Denmark [18].	17 subjects (Mean age \pm standard deviate = 34 \pm 11)	Actigraph GT3X; 3; 30 Hz; right thigh and waist.	NA	Acceleration signal pattern during each activity performed	Machine-learning algorithm
Aittasalo et al.; 2015; Finland [19].	20 subjects aged 13–15 years.	Actigraph GT3X and Hookie AM13; 3; 30 and 100 Hz; 5 s; waist.	$SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ $SVM_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j+N-1} SVM$	Arbitrary category of physical activity intensity	Regression model
Bastian et al.; 2015; France [20].	59 subjects aged 18–55 years.	MotionLogs; 3; 100 Hz; waist.	$MAD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j+N-1} SVM - SVM_{mean} $	Acceleration signal pattern during each activity performed	Machine-learning algorithm
Montoyo et al.; 2015; United States [21].	44 subjects aged 18–44 years.	GENEA; 3; 80 Hz; 1 s; left wrist, right wrist and right thigh.	NA	Indirect calorimetry	Machine-learning algorithm
Vähä-Ypää et al.; 2015; Finland [22].	29 subjects (Mean age \pm standard deviate = 35 \pm 11).	Hookie AM20; 3; 100 Hz; 6 s; waist.	$SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ $SVM_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j+N-1} SVM$	Indirect calorimetry	Regression model and ROC curve
Vähä-Ypää et al.; 2015; Finland [23].	21 subjects (Mean age \pm standard deviate = 42 \pm 11).	Actigraph GT3X, GulfCoast X6-1A and Hookie AM13; 3; 30, 20 and 100 Hz; 5 s; waist.	$MAD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j+N-1} SVM - SVM_{mean} $ $SVM = \sum \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ $SVM_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j+N-1} SVM$	Arbitrary category of physical activity intensity	ROC curve
Montoyo et al.; 2016; United States [24].	34 subjects aged 18–30 years.	Actigraph GT3X and MICA2DOT; 3 and 2; 30 and 10 Hz; waist, right wrist, right thigh and right ankle.	$MAD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j+N-1} SVM - SVM_{mean} $	Indirect calorimetry	Machine-learning algorithm

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Author(s); year; country	Sample	Brand; axes; sampling frequency; epoch; placement	Definition of signal vector magnitude of acceleration (SVM)	Criterion measure	Statistical approach
Montoye et al.; 2016; United States [25].	44 subjects aged 18–44 years.	GENEActiv and Actigraph GT3X; 3; 20 and 40 Hz; left wrist, right wrist and right thigh.	NA	Indirect calorimetry	Machine-learning algorithm
Montoye et al.; 2016; United States [26].	44 subjects aged 18–44 years.	GENEActiv; 3; 20 Hz; left and right wrists.	$SVM = \sum_i \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}$	Indirect calorimetry	Machine-learning algorithm
Roseberg et al.; 2017; United States [27].	39 subjects aged 55–96 years.	Actigraph GT3X; 3; 40 Hz; 60 s; waist.	$SVM = \sum_i \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}$	Global positioning systems (GPS)	Machine-learning algorithm

y, x and z – Correspond to axes: vertical, horizontal right-left and horizontal front-back, respectively.

g – Gravitational equivalent unit, where 1g = 9.81 m s⁻².

f – Sampling frequency.

SVMmean – Mean resultant for each analysed epoch.

MAD – Mean amplitude deviation.

i – Corresponds to each measurement point with acceleration signals in x, y and z axes.

N – Number of samples in the epoch.

j – Starting point of the epoch.

NA – Not applicable. It was used for studies in which the three-dimensional raw data (from x, y, and z axes) were not transformed into a single-dimensional SVM.

collections) should be considered to choose the accelerometer placement. NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey), a large-scale study in the United States of America, collected data from hip-attached accelerometers in the first wave and changed to wrist placement thereafter. The decision was basically attributed to a greater compliance found to wrist-worn accelerometer in real life situations compared to waist-worn [31].

Further discussion on accelerometer axes, sampling frequency, epoch and the SVM calculation is necessary. Different axes and sampling frequency criteria were adopted by the studies included in our review. However, according to Zhang et al. [32], these differences are not determinant for the accuracy of the classification of physical activities. This result is important, since lower sampling rate combined with fewer measurement axes allow for longer periods of use of the monitor with a single battery charge and also reduces the processing time required to analyse the accelerometer data. Furthermore, by reducing the data size, it is also possible to reduce the accelerometer chips responsible for storing the measurements, allowing the monitors to be smaller and with more space to add other functions (e.g. watch face on accelerometer). These extra functions may improve the compliance and the quality of the physical activity measurements [32].

In contrast, potential implications in terms of epoch and SVM choices must be highlighted. Calibration studies based on cut-point approaches usually address the total volume of acceleration signals converted to SVM (under count or raw acceleration signals). As the SVM of acceleration is not changed according to the choice of epoch length, the identified thresholds and their accuracy results are also not influenced by epoch criteria. However, if the objective is to apply these intensity thresholds to obtain the amount of time spent in different levels of intensity (from data collected in free-living), the epoch length may be determinant. For instance, if the intensity varies between moderate/vigorous and sedentary activities within an epoch length of 60 s, it will only reflect the average activity level during this period and, eventually, short bursts of moderate to vigorous physical activity will not be identified. Therefore, shorter epochs (e.g. one or five seconds) are recommended for sensitive assessment of intermittent patterns of physical activity (especially vigorous physical activity, in all age groups) [33]. Among the studies based on machine learning techniques, the discussion about epoch length is less relevant due to specific time windows usually adopted and due to the fact that the main information to be analysed is the movement pattern, instead of the magnitude of acceleration signals summarized within each epoch [31].

Another important topic is the potential advantage that has been attributed to raw data accelerometry, which is expected to generate better comparability between the results from different accelerometer brands. Although small differences might still occur between data collection from different brands, higher comparability will only be achieved if data reduction is performed in a standardized manner. There is evidence presenting high comparability between Actigraph GT3X and GENEActiv, when the same analytical approach (same metric) is performed [34,35]. However, without a standardized data filtering process among studies, as observed in the current literature, the main limitation from count-based analyses remains for raw acceleration signal-based studies.

Due to the mentioned variability in the data reduction and different SVM calculations among the included studies, it was not possible to perform direct comparisons between the cut-points presented. This limitation in terms of comparability has also been highlighted elsewhere [36] and these issues have been consistently described as relevant definitions influencing calibration studies and their threshold proposals [34,35].

Another limitation to be highlighted is the choice of the criterion measure among studies using cut-point-based approaches. Most studies – epidemiological or laboratory-based – addressing physical activity and its health benefits, classify the activities performed using absolute intensity categories [37]. Similarly, most of the included studies used

Table 2
Intensity thresholds and their validity parameters.

Study	Intensity	Thresholds	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (CI _{95%})
Esliger et al. [10]	Left wrist (adults)				
	Sedentary (≤ 1.5 METs)	$< 217 \text{ g min}^{-1}$	97	95	0.98 (0.98–0.99)
	Light (1.6–3.9 METs)	$217\text{--}644 \text{ g min}^{-1}$	NA	NA	NA
	Moderate (4.0–6.9 METs)	$645\text{--}1810 \text{ g min}^{-1}$	95	72	0.91 (0.88–0.93)
	Vigorous (≥ 7 METs)	$> 1810 \text{ g min}^{-1}$	78	98	0.91 (0.86–0.95)
	Right wrist (adults)				
	Sedentary	$< 386 \text{ g min}^{-1}$	99	96	0.98 (0.97–0.99)
	Light	$386\text{--}439 \text{ g min}^{-1}$	NA	NA	NA
	Moderate	$440\text{--}2098 \text{ g min}^{-1}$	100	56	0.84 (0.81–0.87)
	Vigorous	$> 2098 \text{ g min}^{-1}$	78	97	0.89 (0.84–0.94)
	Waist (adults)				
	Sedentary	$< 77 \text{ g min}^{-1}$	99	96	0.97 (0.96–0.98)
	Light	$77\text{--}219 \text{ g min}^{-1}$	NA	NA	NA
	Moderate	$220\text{--}2056 \text{ g min}^{-1}$	96	80	0.93 (0.91–0.95)
	Vigorous	$> 2056 \text{ g min}^{-1}$	73	99	0.92 (0.88–0.96)
Phillips et al. [14]	Left wrist (children)				
	Sedentary (≤ 1.5 METs)	$< 6 \text{ g}$	94.7	96.7	0.97 (0.96–0.99)
	Light (1.6–2.9 METs)	$6\text{--}21 \text{ g}$	NA	NA	NA
	Moderate (3–5.9 METs)	$22\text{--}56 \text{ g}$	88.1	84	0.93 (0.90–0.95)
	Vigorous (≥ 6)	$> 56 \text{ g}$	91.3	89.2	0.94 (0.92–0.97)
	Right wrist (children)				
	Sedentary	$< 7 \text{ g}$	94.9	97.7	0.97 (0.95–0.99)
	Light	$7\text{--}19 \text{ g}$	NA	NA	NA
	Moderate	$20\text{--}60 \text{ g}$	82.4	83.3	0.92 (0.89–0.94)
	Vigorous	$> 60 \text{ g}$	89.4	85.5	0.93 (0.91–0.96)
	Waist (children)				
	Sedentary	$< 3 \text{ g}$	96	96.1	0.99 (0.97–0.99)
	Light	$3\text{--}16 \text{ g}$	NA	NA	NA
	Moderate	$17\text{--}51 \text{ g}$	88.5	88	0.95 (0.93–0.97)
	Vigorous	$> 51 \text{ g}$	92	88.9	0.94 (0.91–0.96)
Hildebrand et al. [16]	AG – waist (adults)				
	Sedentary (NP)	NP	NP	NP	NP
	Light (< 3 METs)	$< 69.1 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Moderate (3–5.9 METs)	$69.1\text{--}258.7 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Vigorous (≥ 6)	$> 258.7 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	GA – waist (adults)				
	Sedentary	NP	NP	NP	NP
	Light	$< 68.7 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Moderate	$68.7\text{--}266.8 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Vigorous	$> 266.8 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	AG – non-dominant wrist (adults)				
	Sedentary	NP	NP	NP	NP
	Light	100.6 mg	NP	NP	NP
	Moderate	$100.6\text{--}428.8 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Vigorous	$> 428.8 \text{ mg}$	NP	NP	NP
GA – non-dominant wrist (adults)					
Sedentary	NP	NP	NP	NP	
Light	$< 93.2 \text{ mg}$	NP	NP	NP	
Moderate	$93.2\text{--}418.3 \text{ mg}$	NP	NP	NP	
Vigorous	$> 418.3 \text{ mg}$	NP	NP	NP	
Hildebrand et al. [16]	AG – waist (children)				
	Sedentary	NP	NP	NP	NP
	Light	$< 142.6 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Moderate	$142.6\text{--}464.6 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Vigorous	$> 464.6 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	GA – waist (children)				
	Sedentary	NP	NP	NP	NP
	Light	$< 152.8 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Moderate	$152.8\text{--}514.3 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Vigorous	$> 514.3 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	AG – non-dominant wrist (children)				
	Sedentary	NP	NP	NP	NP
	Light	$< 201.4 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Moderate	$201.4\text{--}707.0 \text{ mg}$	NP	NP	NP
	Vigorous	$> 707.0 \text{ mg}$	NP	NP	NP

(continued on next page)

Table 2 (continued)

Study	Intensity	Thresholds	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (CI _{95%})
	GA – non-dominant wrist (children)				
	Sedentary	NP	NP	NP	NP
	Light	< 191.6 mg	NP	NP	NP
	Moderate	191.6–695.8 mg	NP	NP	NP
	Vigorous	> 695.8 mg	NP	NP	NP
Schaefer et al. [17]	Non-dominant wrist (children)				
	Sedentary (≤ 1.5 METs)	< 0.190 g	97	87.6	0.96 (NP)
	Light (1.6–2.9 METs)	0.190–0.313 g	NA	NA	NA
	Moderate (3–5.9 METs)	0.314–0.997 g	91	87.3	0.95 (NP)
	Vigorous (≥ 6)	> 0.997 g	94.9	85.3	0.94 (NP)
Aittasalo et al. [19]	AG – Waist (adolescents)				
	Sedentary	< 26.9 mg	95	100	0.98 (NP)
	Light	26.9–331.9 mg	NA	NA	NA
	Moderate	332.0–558.2 mg	96.7	98.6	0.98 (NP)
	Vigorous	> 558.2 mg	100	100	1.00 (NP)
	Hookie – Waist (adolescents)				
	Sedentary	< 28.7 mg	96	99	0.98 (NP)
	Light	28.7–337.9 mg	NA	NA	NA
	Moderate	338.0–603.7 mg	98.3	99.3	0.99 (NP)
	Vigorous	> 603.7 mg	100	100	1.00 (NP)
Vähä-Ypyä et al. [22]	Waist (adults)				
	Sedentary (NP)	NP	NP	NP	NP
	Light (< 3 METs)	91 mg	NA	NA	NA
	Moderate (3–5.9 METs)	91,1–414 mg	100	96	0.97 (0.95–0.99)
	Vigorous (≥ 6)	> 414 mg	96	95	1.00 (0.99–1.00)
Vähä-Ypyä et al. [23]	Waist (adults)				
	Threshold 1	16.7 mg	98.7	99.7	1.00 (NP)
	Threshold 2	157.4 mg	100	100	1.00 (NP)
	Threshold 3	331.2 mg	98.9	96.9	1.00 (NP)
	Threshold 4	599.3 mg	98.3	98.8	1.00 (NP)

GA – GENE

GA – GENEActiv; AG – Actigraph GT3X;

NP – corresponds to information not provided by the study;

NA – not applicable because the sedentary and moderate thresholds provide the limits for the light-intensity category;

In Aittasalo et al. [19] study, the intensities are defined as sedentary (lying supine on a bed, sitting on a chair, sitting while working on a computer, standing, standing while moving light, 1 kg, weights on a table surface), light (slow and normal walking), moderate (brisk walking) e vigorous (jogging and running);

In Vähä-Ypyä et al. [23] study, threshold 1 separates the intensity category 0 (lying supine on a bed, sitting on a chair, sitting while working on a computer, standing, standing while moving light, 1 kg, weights on a table surface) of the category 1 (slow walking), threshold 2 separates the category 1 of the category 2 (normal walking), threshold 3 separates the category 2 of the category 3 (brisk walking) and threshold 4 separates the category 4 (jogging and running) of the category 3.

absolute intensity thresholds as criterion measure. The use of absolute intensity thresholds as reference measure might cause significant misclassification due to individual characteristics [37]. Another point to be highlighted is that even though calibration studies have showed high values of sensitivity, specificity and accuracy, if the criterion measure is inaccurate, an important misclassification will always be present.

Different statistical approaches were applied in the studies included in this review. Linear regression is one of the most widely used method found in the literature, allowing to identify intensity thresholds and predict PAEE adjusted for variables such as age and body weight, among other characteristics. Another approach to identify physical activity intensity thresholds is the Receive Operating Characteristics (ROC) curve analysis. This statistical procedure allows minimizing false positives and false negatives [4], which might be considered an advantage, enabling the researcher to select the intensity thresholds with the highest values of sensitivity and/or specificity [10].

Both statistical approaches to calibration also present limitations. The development of cut-point-based approaches for accelerometer data is applicable in specific research contexts, limiting direct comparisons among physical activity results obtained from different cut-points. Furthermore, considering the diversity of intensity thresholds proposed in the literature, this approach allows the researcher to obtain different results according to the choice of a particular cut-point [31].

Despite these limitations, the cut-points-based approach is still often used to estimate time spent on different physical activity intensities. In

this context, it is important that the researcher takes into account the methodological procedures when choosing the cut-points (e.g. data filtering process, accelerometer placement and sample characteristics).

Machine learning-based modelling is a more recent and sophisticated statistical approach, which has been adopted in calibration studies to assess PAEE and physical activity patterns. Artificial Neural Network was the most frequent machine learning technique applied among the included studies. This technique is a flexible and robust approach, which allows estimating both continuous (PAEE) and categorical variables (physical activity types) [38]. Other techniques such as Decision Tree, Support Vector Machine, Naive Bayes, among others, were also observed in this review, but there is no consensus in the literature on which machine learning is the most feasible technique. For example, Zhang et al. [12], tested different machine learning techniques and the highest accuracy was shown by the Support Vector Machine and Decision Tree. However, considering both efficiency (time spent for classification) and accuracy, the Decision Tree approach was considered the most advantageous compared to other approaches. In the set of results assessed in this review, the accuracy of machine learning-based algorithms for pattern recognition of physical activities was dependent on the type of activity; higher accuracy was observed for locomotive and sedentary activities compared to other household activities.

Overall, promising validity parameters were identified in most studies, considering distinct statistical method applied. For example,

Table 3
Regression equations developed for the prediction of physical activity energy expenditure (PAEE).

Study	Equation	Coefficient of determination
Bouten et al. [8]	Using the integral of the absolute value accelerometer output in antero-posterior direction (IAAx) $E_{Act} = -0.176 + 0.085 \cdot IAAx$ Using the sum of the integrals of absolute accelerometer output from three orthogonal measurement directions (IAAto) $E_{Act} = 0.104 + 0.023 \cdot IAAto$	$R^2 = 0.94$ $R^2 = 0.90$
Hildebrand et al. [16]	Adults AG – hip $VO_2 = 0.0554 \text{ mg} + 6.67$ GA – hip $VO_2 = 0.0530 \text{ mg} + 6.86$ AG – wrist $VO_2 = 0.0320 \text{ mg} + 7.28$ GA – wrist $VO_2 = 0.0323 \text{ mg} + 7.49$ Children AG – hip $VO_2 = 0.0559 \text{ mg} + 10.03$ GA – hip $VO_2 = 0.0498 \text{ mg} + 10.39$ AG – wrist $VO_2 = 0.0356 \text{ mg} + 10.83$ GA – wrist $VO_2 = 0.0357 \text{ mg} + 11.16$	$R^2 = 0.81$ $R^2 = 0.79$ $R^2 = 0.75$ $R^2 = 0.76$ $R^2 = 0.78$ $R^2 = 0.75$ $R^2 = 0.71$ $R^2 = 0.72$
Brandes et al. [13]	AEE = Acc + gender AEE = Acc + age	$R^2 = 0.59$ $R^2 = 0.57$
Vähä-Yppä et al. [22]	Direct relationship between the incident mean amplitude deviation (MAD) and VO_2 $VO_2 = 10.015 e^{0.0017MAD(mg)}$ Walking only $VO_2 = 7.920 + 0.0331 \text{ MAD (mg)}$ All measured values $VO_2 = 2.35e^{(0.00177 \text{ MAD (mg)} - 0.282 \text{ Vmax (ms}^{-1}) + 0.0183 \text{ VO}_2\text{peak (ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}) + 0.0117 \text{ height (cm)} - 0.0142 \text{ weight (kg)} + 0.00693 \text{ waist circumference (cm)} - 0.00211 \text{ age (years))}$	$R^2 = 0.92$ $R^2 = 0.88$ $R^2 = 0.96$

VO_2 – Oxygen uptake expressed under milliliters per kilogram per minute ($\text{ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$).

V_{max} – Maximum oxygen uptake.

VO_{2peak} – Peak oxygen uptake.

E_{Act} – Energy expenditure due to physical activity expressed in watts per kilogram (W kg^{-1}).

AEE – Energy expenditure due to physical activity expressed in joules per kilogram ($\text{J min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$).

Acc – Acceleration.

Table 4
Quality indicators from machine learning-based predict models.

Study	Machine learning technique adopted	Quality indicators
Prediction of PAEE Rothney et al. [9]	Artificial Neural Network – waist	$R^2 = 0.85$
Montoye et al. [21]	Artificial Neural Network – right wrist Artificial Neural Network – left wrist Artificial Neural Network – thigh Artificial Neural Network – waist	$R^2 = 0.74$ $R^2 = 0.72$ $R^2 = 0.81$ $R^2 = 0.74$
Montoye et al. [24]	Artificial Neural Network – thigh, right and left wrists combined Artificial Neural Network – waist	$R^2 = 0.62$ $R^2 = 0.52$
Montoye et al. [25]	Artificial Neural Network – right wrist (using accelerometer data from right wrist) Artificial Neural Network – right wrist (using accelerometer data from left wrist)	$R^2 = 0.66$ $R^2 = 0.58$
Prediction of physical activity types Gyllensten et al. [11]	Decision Tree – waist, soles of the feet, thighs and upper sternum combined Overall activities Artificial Neural Network – waist, soles of the feet, thighs and upper sternum combined Overall activities Support Vector Machines – waist, soles of the feet, thighs and upper sternum combined Overall activities Majority voting – waist, soles of the feet, thighs and upper sternum combined Overall activities	Accuracy (%) = 92.9 Accuracy (%) = 94.2 Accuracy (%) = 95.4 Accuracy (%) = 95.9
Zhang et al. [12]	Decision Tree – right wrist Sedentary activities Household Walking Running Overall activities Decision Tree – left wrist Sedentary activities Household Walking Running Overall activities Decision Tree – waist Sedentary activities Household Walking Running Overall activities	Accuracy (%) = 98.1 Accuracy (%) = 92.9 Accuracy (%) = 97.8 Accuracy (%) = 98.7 Accuracy (%) = 97.0 Accuracy (%) = 98.5 Accuracy (%) = 91.0 Accuracy (%) = 95.9 Accuracy (%) = 100 Accuracy (%) = 95.9 Accuracy (%) = 99.4 Accuracy (%) = 96.6 Accuracy (%) = 100 Accuracy (%) = 100 Accuracy (%) = 99.1
Zhang et al. [12]	Naive Bayes – right wrist Overall activities Naive Bayes – left wrist Overall activities Naive Bayes – waist Overall activities Support Vector Machine – right wrist Overall activities Support Vector Machine – left wrist Overall activities Support Vector Machine – waist Overall activities Artificial Neural Network – right wrist Overall activities Artificial Neural Network – left wrist Overall activities Artificial Neural Network – waist Overall activities	Accuracy (%) = 95.3 Accuracy (%) = 95.3 Accuracy (%) = 98.2 Accuracy (%) = 96.8 Accuracy (%) = 96.4 Accuracy (%) = 99.3 Accuracy (%) = 96.8 Accuracy (%) = 95.9 Accuracy (%) = 99.6
Bing He et al. [15]	Single-accelerometer Movelet – right wrist Lying down Standing Washing dishes Kneading a ball of dough Putting jacket on Folding towels and stacking them nearby Vacuuming carpet Simulated shopping Writing Dealing cards Standing up from a chair and sitting back down Normal walking with arm swing	Accuracy (%) = 97.1 Accuracy (%) = 95.3 Accuracy (%) = 28.7 Accuracy (%) = 55.2 Accuracy (%) = 6.0 Accuracy (%) = 13.7 Accuracy (%) = 67.0 Accuracy (%) = 38.0 Accuracy (%) = 98.9 Accuracy (%) = 62.2 Accuracy (%) = 94.3 Accuracy (%) = 98.9

(continued on next page)

Table 4 (continued)

Study	Machine learning technique adopted	Quality indicators
	Normal walking without arm swing	Accuracy (%) = 99.2
	Brisk walking with arm swing	Accuracy (%) = 95.9
	Brisk walking without arm swing	Accuracy (%) = 97.9
	Single-accelerometer Movelet – left wrist	
	Lying down	Accuracy (%) = 98.1
	Standing	Accuracy (%) = 96.3
	Washing dishes	Accuracy (%) = 15.2
	Kneading a ball of dough	Accuracy (%) = 51.1
	Putting jacket on	Accuracy (%) = 11.0
	Folding towels and stacking them nearby	Accuracy (%) = 11.4
	Vacuuming carpet	Accuracy (%) = 84.1
	Simulated shopping	Accuracy (%) = 24.4
	Writing	Accuracy (%) = 97.8
	Dealing cards	Accuracy (%) = 95.9
Bing He et al. [15]	Standing up from a chair and sitting back down	Accuracy (%) = 98.8
	Normal walking with arm swing	Accuracy (%) = 98.9
	Normal walking without arm swing	Accuracy (%) = 98.5
	Brisk walking with arm swing	Accuracy (%) = 97.7
	Brisk walking without arm swing	Accuracy (%) = 98.7
	Single-accelerometer Movelet – waist	
	Lying down	Accuracy (%) = 98.9
	Standing	Accuracy (%) = 96.1
	Washing dishes	Accuracy (%) = 63.4
	Kneading a ball of dough	Accuracy (%) = 64.3
	Putting jacket on	Accuracy (%) = 41.1
	Folding towels and stacking them nearby	Accuracy (%) = 34.9
	Vacuuming carpet	Accuracy (%) = 52.3
	Simulated shopping	Accuracy (%) = 24.7
	Writing	Accuracy (%) = 98.9
	Dealing cards	Accuracy (%) = 52.8
	Standing up from a chair and sitting back down	Accuracy (%) = 88.1
	Normal walking with arm swing	Accuracy (%) = 93.5
	Normal walking without arm swing	Accuracy (%) = 83.5
	Brisk walking with arm swing	Accuracy (%) = 85.0
	Brisk walking without arm swing	Accuracy (%) = 81.6
	Expanded Movelets – waist, right and left wrists combined	
	Lying down	Accuracy (%) = 100
	Standing	Accuracy (%) = 100
	Washing dishes	Accuracy (%) = 39.7
	Kneading a ball of dough	Accuracy (%) = 64.1
	Putting jacket on	Accuracy (%) = 0.3
	Folding towels and stacking them nearby	Accuracy (%) = 13.7
	Vacuuming carpet	Accuracy (%) = 84.1
	Simulated shopping	Accuracy (%) = 32.8
	Writing	Accuracy (%) = 100
	Dealing cards	Accuracy (%) = 100
	Standing up from a chair and sitting back down	Accuracy (%) = 98.4
	Normal walking with arm swing	Accuracy (%) = 99.2
	Normal walking without arm swing	Accuracy (%) = 99.1
	Brisk walking with arm swing	Accuracy (%) = 96.7
	Brisk walking without arm swing	Accuracy (%) = 98.9
	Movelets Voting – waist, right and left wrists combined	
	Lying down	Accuracy (%) = 99.3
	Standing	Accuracy (%) = 97.8
	Washing dishes	Accuracy (%) = 64.5
	Kneading a ball of dough	Accuracy (%) = 77.4
	Putting jacket on	Accuracy (%) = 33.8
	Folding towels and stacking them nearby	Accuracy (%) = 29.9
	Vacuuming carpet	Accuracy (%) = 87.2
	Simulated shopping	Accuracy (%) = 40.5
	Writing	Accuracy (%) = 97.5
Bing He et al. [15]	Dealing cards	Accuracy (%) = 80.3
	Standing up from a chair and sitting back down	Accuracy (%) = 98.0
	Normal walking with arm swing	Accuracy (%) = 98.5
	Normal walking without arm swing	Accuracy (%) = 98.2
	Brisk walking with arm swing	Accuracy (%) = 98.2
	Brisk walking without arm swing	Accuracy (%) = 97.3
	Movelets Decision Tree – waist, right and left wrists combined	
	Lying down	Accuracy (%) = 100
	Standing	Accuracy (%) = 98.1
	Washing dishes	Accuracy (%) = 53.6

(continued on next page)

Table 4 (continued)

Study	Machine learning technique adopted	Quality indicators
	Kneading a ball of dough	Accuracy (%) = 63.8
	Putting jacket on	Accuracy (%) = 28.8
	Folding towels and stacking them nearby	Accuracy (%) = 30.8
	Vacuuming carpet	Accuracy (%) = 58.0
	Simulated shopping	Accuracy (%) = 28.4
	Writing	Accuracy (%) = 99.6
	Dealing cards	Accuracy (%) = 33.8
	Standing up from a chair and sitting back down	Accuracy (%) = 55.8
	Normal walking with arm swing	Accuracy (%) = 97.6
	Normal walking without arm swing	Accuracy (%) = 93.2
	Brisk walking with arm swing	Accuracy (%) = 84.8
	Brisk walking without arm swing	Accuracy (%) = 96.3
Skotte et al. [18]	Decision Tree – waist	
	Standing	Accuracy (%) = 100
	Sitting	Accuracy (%) = 100
	Walking	Accuracy (%) = 99.6
	Stair climbing and descending	Accuracy (%) = 97.7
	Cycling	Accuracy (%) = 100
	Running	Accuracy (%) = 99.3
Bastian et al. [20]	Bayesian – waist	
	Lying	Accuracy (%) = 93.4
	Slouching	Accuracy (%) = 85.2
	Sitting	Accuracy (%) = 52.7
	Standing	Accuracy (%) = 81.3
	Small utilitarian movements	Accuracy (%) = 79.4
	Walking	Accuracy (%) = 95.4
	Cycling	Accuracy (%) = 66.3
	Running	Accuracy (%) = 93.5
Montoye et al. [26]	Artificial Neural Network – right wrist	
	Lying down	Accuracy (%) = 81.1
	Reading	Accuracy (%) = 59.9
	Using computer	Accuracy (%) = 85.9
	Standing	Accuracy (%) = 90.0
	Folding towels and putting them in a laundry basket	Accuracy (%) = 79.3
	Sweeping	Accuracy (%) = 77.5
	Flexing and extending the biceps with a light load	Accuracy (%) = 90.8
Montoye et al. [26]	Slow walking	Accuracy (%) = 72.2
	Squats	Accuracy (%) = 87.9
	Brisk walking	Accuracy (%) = 69.4
	Stair climbing and descending	Accuracy (%) = 74.4
	Cycling	Accuracy (%) = 84.1
	Jogging	Accuracy (%) = 96.1
	Overall activities	Accuracy (%) = 81.1
	Artificial Neural Network – left wrist	
	Lying down	Accuracy (%) = 76.2
	Reading	Accuracy (%) = 66.9
	Using computer	Accuracy (%) = 78.7
	Standing	Accuracy (%) = 90.2
	Folding towels and putting them in a laundry basket	Accuracy (%) = 83.8
	Sweeping	Accuracy (%) = 79.5
	Flexing and extending the biceps with a light load	Accuracy (%) = 87.5
	Slow walking	Accuracy (%) = 71.5
	Squats	Accuracy (%) = 89.8
	Brisk walking	Accuracy (%) = 69.9
	Stair climbing and descending	Accuracy (%) = 73.3
	Cycling	Accuracy (%) = 87.2
	Jogging	Accuracy (%) = 95.3
	Overall activities	Accuracy (%) = 80.9
	Artificial Neural Network – thigh	
	Lying down	Accuracy (%) = 53.9
	Reading	Accuracy (%) = 38.4
	Using computer	Accuracy (%) = 54.6
	Standing	Accuracy (%) = 69.6
	Folding towels and putting them in a laundry basket	Accuracy (%) = 59.3
	Sweeping	Accuracy (%) = 72.7
	Flexing and extending the biceps with a light load	Accuracy (%) = 53.4
	Slow walking	Accuracy (%) = 82.2
	Squats	Accuracy (%) = 88.9
	Brisk walking	Accuracy (%) = 71.9
	Stair climbing and descending	Accuracy (%) = 89.1
	Cycling	Accuracy (%) = 66.0
	Jogging	Accuracy (%) = 93.1

(continued on next page)

Table 4 (continued)

Study	Machine learning technique adopted	Quality indicators
	Overall activities	Accuracy (%) = 71.4
	Artificial Neural Network – waist	
	Lying down	Accuracy (%) = 90.8
	Reading	Accuracy (%) = 36.5
	Using computer	Accuracy (%) = 39.2
	Standing	Accuracy (%) = 56.9
	Folding towels and putting them in a laundry basket	Accuracy (%) = 50.6
	Sweeping	Accuracy (%) = 60.0
	Flexing and extending the biceps with a light load	Accuracy (%) = 44.8
	Slow walking	Accuracy (%) = 66.9
	Squats	Accuracy (%) = 78.9
Montoye et al. [26]	Brisk walking	Accuracy (%) = 77.1
	Stair climbing and descending	Accuracy (%) = 87.3
	Cycling	Accuracy (%) = 66.0
	Jogging	Accuracy (%) = 92.5
	Overall activities	Accuracy (%) = 66.2
Rosemberg et al. [27]	Random forest – waist	
	Sitting	Accuracy (%) = 90.0
	Riding in a vehicle	Accuracy (%) = 91.0
	Standing still	Accuracy (%) = 67.0
	Standing moving	Accuracy (%) = 79.0
	Walking	Accuracy (%) = 84.0

PAEE – Physical activity energy expenditure;

R² – Coefficient of determination.

high mean values of intensity thresholds accuracy (84%), high mean coefficient of determination to estimate PAEE (80% and 70%, approximately for regression-based and machine learn-based models, respectively), as well as high accuracy for the recognition of physical activity patterns (except household activities) were found in the studies.

Comparisons between accuracy of machine learning technique and other traditional methods must be carefully performed. Usually the physical activity construct being assessed is not the same. Accuracy of physical activity patterns recognition, for example, cannot be directly compared to accuracy of intensities thresholds. Otherwise, PAEE is one of the few constructs in which both traditional methods (linear regression) and machine learning technique might be compared. In this context, an important characteristic is the use of more complete acceleration records using machine-learning technique, unlike approaches based on linear regression models in which only the mean acceleration for each interval of activity is considered. Therefore, these algorithms are theoretically able to better adjust the relationship between movement acceleration and PAEE by reducing the misclassification of activities with similar energy expenditures and different accelerations levels [31,39]. However, no relevant differences regarding accuracy of predict PAEE was identified comparing such methods in this review.

5. Conclusions

The use of accelerometers to measure physical activity has been increasingly frequent [31], however it is still necessary to advance in the interpretation of these measures. In this scenario, the approximation among researchers from different areas (e.g. program designers, engineers, and statisticians) is a relevant alternative to expand the developing and the use of more sophisticated analytical techniques. A closer relationship is essential to obtain even more accurate and detailed physical activity measures in the future.

This systematic review has summarized the methodological characteristics and main results of calibration studies based on raw-accelerometry. In conclusion, despite the relatively small number of studies identified, important differences in methodological decisions have influenced the results and comparability. Higher sample heterogeneity is required for better generalization of results from calibration studies.

Furthermore, standardization of SVM calculations would dramatically contribute for comparability between physical activity estimates. Finally, the different statistical approaches used in the studies presented promising validity parameters.

Conflict of interest

None.

Acknowledgements

I extend my acknowledgements to all Brazilian citizens who, through the payment of their taxes, allow so many researchers to improve their scientific knowledge in public graduate programs.

References

- [1] K.Y. Chen, D.R. Bassett, The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future, *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 (2005) 490–500.
- [2] C.E. Matthews, Calibration of accelerometer output for adults, *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 (2005) S512–S522.
- [3] C.C. Yang, Y.L. Hsu, A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring, *Sensors (Basel)* 10 (2010) 7772–7788.
- [4] D.R. Bassett Jr., A. Rowlands, S.G. Trost, Calibration and validation of wearable monitors, *Med. Sci. Sports Exerc.* 44 (2012) S32–S38.
- [5] J.J. Kavanagh, H.B. Menz, Accelerometry: a technique for quantifying movement patterns during walking, *Gait Posture* 28 (2008) 1–15.
- [6] D. Moher, L. Shamseer, M. Clarke, D. Ghersi, A. Liberati, M. Petticrew, et al., Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement, *Syst. Rev.* 4 (2015) 1.
- [7] J.R. Landis, G.G. Koch, The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics* 33 (1977) 159–174.
- [8] C.V. Bouten, K.R. Westerterp, M. Verduin, J.D. Janssen, Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer, *Med. Sci. Sports Exerc.* 26 (1994) 1516–1523.
- [9] M.P. Rotheny, M. Neumann, A. Beziat, K.Y. Chen, An artificial neural network model of energy expenditure using nonintegrated acceleration signals, *J. Appl. Physiol.* (1985) 103 (2007) 1419–1427.
- [10] D.W. Eslinger, A.V. Rowlands, T.L. Hurst, M. Catt, P. Murray, R.G. Eston, Validation of the GENE accelerometer, *Med. Sci. Sports Exerc.* 43 (2011) 1085–1093.
- [11] I.C. Gyllensten, A.G. Bonomi, Identifying types of physical activity with a single accelerometer: evaluating laboratory-trained algorithms in daily life, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 58 (2011) 2656–2663.
- [12] S. Zhang, A.V. Rowlands, P. Murray, T.L. Hurst, Physical activity classification using the GENE wrist-worn accelerometer, *Med. Sci. Sports Exerc.* 44 (2012) 742–748.

- [13] M. Brandes, V.T. Van Hees, V. Hannover, S. Brage, Estimating energy expenditure from raw accelerometry in three types of locomotion, *Med. Sci. Sports Exerc.* 44 (2012) 2235–2242.
- [14] L.R. Phillips, G. Parfitt, A.V. Rowlands, Calibration of the GENEActiv accelerometer for assessment of physical activity intensity in children, *J. Sci. Med. Sport* 16 (2013) 124–128.
- [15] H.E. Bing, B.A.I. Jiawei, V.V. Zipunnikov, A. Koster, P. Caserotti, B. Lange-Maia, et al., Predicting human movement with multiple accelerometers using movelets, *Med. Sci. Sports Exerc.* 46 (2014) 1859–1866.
- [16] M. Hildebrand, V.T. Van Hees, B.H. Hansen, U. Ekelund, Age-Group comparability of raw accelerometer output from wrist- and hip-worn monitors, *Med. Sci. Sports Exerc.* 46 (2014) 1816–1824.
- [17] C.A. Schaefer, C.R. Nigg, J.O. Hill, L.A. Brink, R.C. Browning, Establishing and evaluating wrist cutpoints for the GENEActiv accelerometer in youth, *Med. Sci. Sports Exerc.* 46 (2014) 826–833.
- [18] J. Skotte, M. Korshøj, J. Kristiansen, C. Hanisch, A. Holtermann, Detection of physical activity types using triaxial accelerometers, *J. Phys. Act. Health* 11 (2014) 76–84.
- [19] M. Aittasalo, H. Vaha-Yppä, T. Vasankari, P. Husu, A.M. Jussila, H. Sievanen, Mean amplitude deviation calculated from raw acceleration data: a novel method for classifying the intensity of adolescents' physical activity irrespective of accelerometer brand, *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 7 (2015) 18.
- [20] T. Bastian, A. Maire, J. Dugas, A. Ataya, C. Villars, F. Gris, et al., Automatic identification of physical activity types and sedentary behaviors from triaxial accelerometer: laboratory-based calibrations are not enough, *J. Appl. Physiol.* 118 (2015) 716–722.
- [21] A.H.K. Montoye, L.M. Mudd, S. Biswas, K.A. Pfeiffer, Energy expenditure prediction using raw accelerometer data in simulated free living, *Med. Sci. Sports Exerc.* 47 (2015) 1735–1746.
- [22] H. Vähä-Yppä, T. Vasankari, P. Husu, A. Manttari, T. Vuorimaa, J. Suni, et al., Validation of cut-Points for evaluating the intensity of physical activity with accelerometry-based mean amplitude deviation (MAD), *PLoS One* 10 (2015) e0134813.
- [23] H. Vähä-Yppä, T. Vasankari, P. Husu, J. Suni, H. Sievänen, A universal, accurate intensity-based classification of different physical activities using raw data of accelerometer, *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 35 (2015) 64–70.
- [24] A.H.K. Montoye, D. Bo, S. Biswas, K.A. Pfeiffer, Validation of a wireless accelerometer network for energy expenditure measurement, *J. Sports Sci.* 34 (2016) 2130–2139.
- [25] A.H.K. Montoye, J.M. Pivarnik, L.M. Mudd, S. Biswas, K.A. Pfeiffer, Comparison of activity type classification accuracy from accelerometers worn on the hip wrists, and thigh in young, apparently healthy adults, *Meas. Phys. Educ. Exerc. Sci.* 20 (2016) 173–183.
- [26] A.H.K. Montoye, J.M. Pivarnik, L.M. Mudd, S. Biswas, K.A. Pfeiffer, Wrist-independent energy expenditure prediction models from raw accelerometer data, *Physiol. Meas.* 37 (2016) 1770–1784.
- [27] D. Rosenberg, S. Godbole, K. Ellis, D.I. Chongzhi, A. Lacroix, L. Natarajan, et al., Classifiers for accelerometer-measured behaviors in older women, *Med. Sci. Sports Exerc.* 49 (2017) 610–617.
- [28] P.S. Freedson, D. John, Comment on estimating activity and sedentary behavior from an accelerometer on the hip and wrist, *Med. Sci. Sports Exerc.* 45 (2013) 962–963.
- [29] V.T. van Hees, R. Golubic, U. Ekelund, S. Brage, Impact of study design on development and evaluation of an activity-type classifier, *J. Appl. Physiol.* 114 (2013) 1042–1051.
- [30] M.E. Rosenberger, W.L. Haskell, F. Albinali, S. Mota, J. Nawyn, S. Intille, Estimating activity and sedentary behavior from an accelerometer on the hip or wrist, *Med. Sci. Sports Exerc.* 45 (2013) 964–975.
- [31] R.P. Troiano, J.J. McClain, R.J. Brychta, K.Y. Chen, Evolution of accelerometer methods for physical activity research, *Br. J. Sports Med.* 48 (2014) 1019–1023.
- [32] S. Zhang, P. Murray, R. Zillmer, R.G. Eston, M. Catt, A.V. Rowlands, Activity classification using the GENEActiv: optimum sampling frequency and number of axes, *Med. Sci. Sports Exerc.* 44 (2012) 2228–2234.
- [33] S.G. Trost, K.L. McIver, R.R. Pate, Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research, *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 (2005) S531–S543.
- [34] A.V. Rowlands, T. Yates, M. Davies, K. Khunti, C.L. Edwardson, Raw accelerometer data analysis with GGIR R-package: does accelerometer brand matter? *Med. Sci. Sports Exerc.* 48 (2016) 1935–1941.
- [35] A.V. Rowlands, E.M. Mirkes, T. Yates, S. Clemes, M. Davies, K. Khunti, et al., Accelerometer-assessed physical activity in epidemiology: are monitors equivalent? *Med. Sci. Sports Exerc.* (October (2)) (2017), <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0000000000001435> [Epub ahead of print].
- [36] M. Hildebrand, B.H. Hansen, V.T. van Hees, U. Ekelund, Evaluation of raw acceleration sedentary thresholds in children and adults, *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 27 (December 12) (2017) 1814–1823, <http://dx.doi.org/10.1111/sms.12795> Epub 2016 Nov 22. Source: Pubmed.
- [37] C.E. Garber, B. Blissmer, M.R. Deschenes, B.A. Franklin, M.J. Lamonte, I.M. Lee, et al., American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.* 43 (2011) 1334–1359.
- [38] S.J. Preece, J.Y. Goulermas, L.P. Kenney, D. Howard, K. Meijer, R. Crompton, Activity identification using body-mounted sensors—a review of classification techniques, *Physiol. Meas.* 30 (2009) R1–33.
- [39] N.F. Butte, U. Ekelund, K.R. Westerterp, Assessing physical activity using wearable monitors: measures of physical activity, *Med. Sci. Sports Exerc.* 44 (2012) S5–12.

SEÇÃO 4. ARTIGO 2
(Artigo submetido ao *Plos One*)

Title: Metabolic Equivalent Task (METs) thresholds as an indicator of physical activity intensity

Running title: Classification of physical activity intensity

Authors:

Márcio de Almeida Mendes¹ (marciopenha.esef@yahoo.com.br);

Inácio da Silva¹ (inacio_cms@yahoo.com.br);

Virgílio Ramires¹ (virgiloramires@hotmail.com);

Felipe Reichert² (ffreichert@gmail.com);

Rafaela Martins¹ (rafamartins1@gmail.com);

Rodrigo Ferreira² (wiltgenrodrigo@gmail.com);

Elaine Tomasi¹ (tomasiet@gmail.com).

1 - Post-Graduate Program in Epidemiology, Federal University of Pelotas, Brazil.

2 - Physical Education School, Federal University of Pelotas, Brazil.

Corresponding Author: Márcio de Almeida Mendes

E-mail: marciopenha.esef@yahoo.com.br

Rua Marechal Deodoro, 1160, CEP: 96020-220, Pelotas, Brazil.

Fax: +55 (53) 3284 – 1300

Telephone: +55 (53) 3284 – 1300

Abstract

The purpose of the study was to assess validity parameters of different intensity thresholds in METs, using relative intensities based on the percentage of maximum oxygen uptake ($VO_2\text{max}$) as a criterion measure. Convenience sampling was used to recruit total of 112 adults. The participants carried out a $VO_2\text{max}$ test on a cycle ergometer and were submitted to nine free-living activities. The oxygen uptake was measured continuously by the *VO2000*[®] gas analyser throughout the tests. The intensity thresholds were identified using Receiver Operator Characteristic (ROC) curve analysis, having relative intensity categories as criterion measure. A total of 103 participants attended the two visits. Among 54 men and 49 women, the mean (\pm SD) ages were 36.1 (\pm 11.1) and 33.9 (\pm 10.6) years, respectively. The intensity thresholds identified were 4.9 METs for moderate and 6.8 METs for vigorous physical activity. In conclusion, the physical activity thresholds, generated according to the entire sample, were higher and presented higher specificity when compared to thresholds currently recommended. Moreover, these parameters presented relatively high accuracy, even when applied to specific groups such as sex, age, nutritional status and physical fitness.

Keywords: Intensity thresholds; Relative intensity; Absolute intensity; Oxygen uptake.

Introduction

Physical activity is defined as any body movement resulting in energy expenditure higher than resting [1]. It might also be characterized as behaviour of complex assessment, considering its diversity regarding different body movements and dimensions such as frequency, intensity and duration.

There are several studies showing the health benefits from regular physical activity practice [2]. These positive effects are not only related to the total energy expenditure, but also attributed to the intensities in which physical activity might be performed [3]. Therefore, the intensity classifications are essential physical activity components to be evaluated.

Currently, there are different proposals of thresholds based on relative intensities (considering individual characteristics) and absolute intensities (which do not take into account individual characteristics) [4]. Guidelines have recommended using metabolic equivalent of task (METs) as reference thresholds of absolute intensities (light, <3.0 METs; moderate, 3.0 – 5.9 METs; vigorous ≥ 6.0 METs) [3], however, its validity parameters are not available in the literature.

Misclassification of light, moderate or vigorous physical activity brings an important limitation for the study of this behaviour, since it may under or overestimate physical activity estimates and distort its associations with health outcomes. Although these thresholds of intensity have been widely applied in epidemiological research, it is crucial that their sensitivity and specificity parameters are properly evaluated. Thus, the aim of the present study was to assess validity parameters of different absolute intensity thresholds in METs, assuming relative intensities based on the VO₂max as criterion measure.

Methods

Sample

The study was carried out between April and September 2016 in a southern city of Brazil. Convenience sampling was used to recruit a total of 112 adults after disclosing the study on Internet social networks. In the sample process, there was an intention to include participants heterogeneously in terms of sex, age and current physical activity practice (as an attempt to have different groups of

physical fitness). Volunteers with chronic diseases (such as diabetes, cardiovascular or pulmonary diseases) were excluded from the study. Readiness for physical activity practice was assessed by the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) [5], excluding those potential participants presenting at least one positive answer. This study was approved by the Ethics Committee of the Medicine School - Federal University of Pelotas (UFPel), according to protocol number 1.258.787/2015. All participants voluntarily signed a written informed consent and they could abandon the study at any time.

Measures

The data collection was performed in two visits to the laboratory of physiology and biochemistry of the exercise at the Physical Education School - UFPel. There was a maximum interval of 10 days between each visit. The participants were instructed to have a light meal two hours before each test and to avoid vigorous physical activity in the last 24 hours.

In the first visit participants carried out a VO_2max test based on an adapted protocol of Balke [6] in a cycle ergometer Ergo-Fit 1200[®]. Prior to the test, wearing only shorts and t-shirts, participants' weight and height were measured using an electronic scale Soehnle Professional 7755[®] (1 g precision) and a wall mounted stadiometer Stardard Sanny[®] (1 cm precision), respectively. Among males, there was a warming up session during three minutes at 100 *watts* on the cycle ergometer, followed by an increase to 150 *watts*, which was subsequently increased by 25 *watts* every minute up to the participant exhaustion. Among females, there was a warming up session during three minutes at 50 *watts* on the cycle ergometer, followed by an increase to 100 *watts*, which was subsequently increased in by 15 *watts* every minute up to the participant exhaustion. For both sexes, participants were instructed during the test to remain at the minimum frequency of 60 rotations per minute (rpm). The oxygen uptake was continuously measured by a mixing-box-type portable gas analyser (VO2000, MedGraphics; Ann Arbor, USA) [7], previously calibrated according to manufacturer's specifications. For every three breaths, one measure was performed and the data were analysed using the BREEZE Software. The test was considered as maximum when the respiratory exchange ratio (RER) was higher than 1.1. Heart rate was assessed using a Polar V800[®] monitor. Participants aged 45 years or older

have their maximum heart rate (HR_{max}) defined according to the following equation: $HR_{max} = 208 - (0.7 * Age)$ [8]. Tests should be interrupted if participants reach their HR_{max} (which did not happen in the field work).

In the second visit, participants were submitted to nine free-living activities (Table 1), based on a previous accelerometer calibration study [9]. The ninth activity, the most intense one, was not mandatory, being performed according to the participants' physical conditions. All activities lasted five minutes, except for the first one, which was based on 10 minutes supine. Among the first eight activities, there was a resting period of two minutes between each activity, and before the last activity there was a five-minute resting period due to an increase in the activity intensities. During all activities, the oxygen uptake was measured using the same procedures applied in the first visit.

Table 1 – Description of the nine structured activities.

Order	Activity (minutes)	Description
1 ^a	Lying down (10')	Lying in supine position awake, with arms on the side, avoiding bodily movement.
2 ^a	Sitting (5')	Sitting on a chair, using the computer.
3 ^a	Standing (5')	Standing on the floor, using mobile phone.
4 ^a	Circuit (5')	Sitting, putting on shoes, standing, moving eight things on a desk, writing a message on a mobile phone, and sitting down again. Repeat.
5 ^a	Slow walking, 3 km·h ⁻¹ (5')	Walking on a treadmill.
6 ^a	Brisk walking, 6 km·h ⁻¹ (5')	Walking on a treadmill.
7 ^a	Step (5')	At the beginning of minute two and four, walking up a step (20 cm high) 15 times. The rest of the time, walking on the treadmill at 6 km·h ⁻¹ .
8 ^a	Running, 8 km·h ⁻¹ (5')	Running on a treadmill.
9 ^a	Intermittent running, 10 km·h ⁻¹ and 12 km·h ⁻¹ (5')	Running at 10 km·h ⁻¹ for 60 seconds, alternating with running at 12 km·h ⁻¹ for 30 seconds on a treadmill.

Analyses

Data reduction was performed to evaluate the period in which participants were in steady state in each activity. In the first activity, only the period between minutes 7 and 9.5 was evaluated and for the other activities the period between minutes 2.5 and 4.5 was assessed. After data reduction, an average of the oxygen uptake ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) of each activity was calculated and later converted to METs (1 MET = $3.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) [10]. The METs values were analysed as a continuous variable.

Criterion measure for physical activity intensities was the $\%VO_{2\text{max}}$, classified according to current recommendations for exercise prescriptions by the *American College of Sports Medicine* [4]: $\%VO_{2\text{max}}$ (light, $<46\%$; moderate, $46 - 63\%$; vigorous, $\geq 64\%$). The $\%VO_{2\text{max}}$ was dichotomized as (a) light vs. moderate to vigorous and (b) vigorous vs. lower than vigorous.

ROC curve analysis was performed to generate physical activity intensity thresholds in METs, according to the higher sensitivity (correctly identifying activities above the thresholds), specificity (correctly identifying activities below the thresholds) and area under the ROC curve (AUC). Similar analytical procedures were used elsewhere [11]. Additional analyses were carried out stratifying the sample by gender, age (20 to 39; and 40 to 60), body mass index (BMI) (normal: $<25.0 \text{ kg/m}^2$; and overweight/obese: $\geq 25.0 \text{ kg/m}^2$) [12] and physical fitness, classified according to sex and age and categorized as low physical fitness (very bad, bad, below average and average) and high physical fitness (above average, good and excellent) [13]. Comparisons between sensitivity, specificity and AUC from different thresholds were performed based on the range of interval values and overlapping 95% confidence intervals (CI) [14, 15].

Results

A total of 103 participants attended the two visits. Among men, the average age was 36.1 (SD \pm 11.1) years (two thirds of the participants were younger than 40 years old), 46% were classified with overweight and 26% presented above average physical fitness. Among women, most of the sample was younger than 40 years old (69.4%), classified as normal weight (61.2%) and bad physical fitness (26.5%) (Table 2).

Table 2 – Sample description according to demographic, nutritional and physiological variables.

Variables	<u>Male</u>		<u>Female</u>	
	N	%	N	%
Age (years)				
20-29	16	29.6	20	40.8
30-39	20	37.0	14	28.6
40-49	8	14.9	9	18.4
50-60	10	18.5	6	12.2
BMI (kg/m²)				
Normal (<25)	22	40.7	30	61.2
Overweight (25 – 29.9)	25	46.3	14	28.6
Obesity (≥30)	7	13.0	5	10.2
Physical fitness				
Very bad	0	0.0	6	12.2
Bad	1	1.9	13	26.5
Below average	10	18.5	12	24.5
Average	9	16.7	7	14.3
Above average	14	25.9	6	12.2
Good	8	14.8	4	8.2
Excellent	12	22.2	1	2.1
Total	54	52.4	49	47.6

The limits of physical fitness categories are expressed as VO₂max (ml·kg⁻¹·min⁻¹) [13].

Mean values and standard deviation of the oxygen uptake for each activity are presented in Table 3. The mean oxygen uptake during the rest period (lying in supine position) was equal between men and women (1.0 (\pm 0.2) MET). Regarding the other activities, the means of oxygen uptake were also similar between men and women, except for brisk walking – women: 5.8 (\pm 1.1) METs; men: 5.0 (\pm 0.7) METs.

Table 3 – Mean and standard deviation (SD) of uptake oxygen ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) and METs for each activity, stratified by sex.

Activities	Overall		Male		Female	
	VO ₂	METs	VO ₂	METs	VO ₂	METs
	Mean (\pm SD)	Mean (\pm SD)	Mean (\pm SD)	Mean (\pm SD)	Mean (\pm SD)	Mean (\pm SD)
1 - Lying down	3.5 (\pm 0.7)	1.0 (\pm 0.2)	3.4 (\pm 0.7)	1.0 (\pm 0.2)	3.5 (\pm 0.7)	1.0 (\pm 0.2)
2 - Sitting	4.5 (\pm 0.9)	1.3 (\pm 0.3)	4.4 (\pm 0.9)	1.3 (\pm 0.3)	4.6 (\pm 0.9)	1.3 (\pm 0.3)
3 - Standing	4.3 (\pm 1.0)	1.2 (\pm 0.3)	4.4 (\pm 1.1)	1.2 (\pm 0.3)	4.2 (\pm 0.9)	1.2 (\pm 0.2)
3 - Circuit	7.0 (\pm 1.5)	2.0 (\pm 0.4)	6.8 (\pm 1.6)	1.9 (\pm 0.5)	7.2 (\pm 1.4)	2.1 (\pm 0.4)
5 – Slow walking, 3 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	10.6 (\pm 2.0)	3.0 (\pm 0.6)	10.1 (\pm 1.8)	2.9 (\pm 0.5)	11.2 (\pm 2.2)	3.2 (\pm 0.6)
6 – Brisk walking, 6 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	19.0 (\pm 3.5)	5.4 (\pm 1.0)	17.7 (\pm 2.4)	5.0 (\pm 0.7)	20.4 (\pm 3.9)	5.8 (\pm 1.1)
7 - <i>Step</i>	19.1 (\pm 2.9)	5.5 (\pm 0.8)	18.3 (\pm 2.7)	5.2 (\pm 0.8)	20.1 (\pm 2.8)	5.7 (\pm 0.8)
8 - Running 8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n=101)	28.7 (\pm 3.7)	8.2 (\pm 1.1)	28.3 (\pm 3.5)	8.1 (\pm 1.0)	29.2 (\pm 4.0)	8.3 (\pm 1.1)
9 - Intermittent running, 10 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and 12 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (n=72)	36.5 (\pm 5.0)	10.4 (\pm 1.4)	36.4 (\pm 5.1)	10.4 (\pm 1.4)	36.9 (\pm 4.9)	10.5 (\pm 1.4)

n – Number of participants who performed the activities. Activities without this information were practiced by all participants.

The intensity thresholds identified in this study, based on the highest value sum in the sensitivity and specificity, were 4.9 METs for moderate and 6.8 METs for vigorous physical activity. Comparing these thresholds to those recommended by the current guidelines (≥ 3.0 METs for moderate and ≥ 6.0 METs for vigorous physical activity), we observed similar AUC. However, there were important differences in terms of sensitivity and specificity. The moderate threshold identified in the analytical sample was 1.9 METs higher compared to the recommended one, also presenting higher specificity (91.5; 95%CI: 88.9 – 93.6, compared to 78.8; 95%CI: 75.3 – 82.0, respectively). Regarding vigorous intensity thresholds, the estimate based on the analytical sample was 0.8 MET higher than the recommended value, presenting higher specificity as well (96.0; 95%CI: 94.3 – 97.3, compared to 92.1; 95%CI: 89.9 – 94.0) (Table 4).

Stratified intensity thresholds were also estimated and are presented in Table 4. All estimates for moderate intensity were higher than 3.0 METs. Among men, moderate physical activity threshold was 5.6 METs, while among women this threshold was 3.8 METs. Moderate thresholds of 4.0 and 6.2 METs were found when comparing participants with low and high physical fitness respectively. There were no or small differences in the moderate thresholds comparing BMI and age groups. Assessing vigorous physical activity intensity thresholds, two subgroups presented lower values compared to the recommended threshold (5.5 METs for women and 5.6 METs for participants between 40 and 60 years old). The higher threshold identified for vigorous physical activity was among participants with high physical fitness (8.2 METs). For all stratified analyses, AUC presented relatively high values, which was lower among participants with low physical fitness (AUC=0.84; 95%CI: 0.80 – 0.88).

Table 4 – Physical activity intensity thresholds according to current physical activity guidelines and from this study (based on overall sample and stratified by sex, age, BMI and physical fitness variables).

	Intensity thresholds	Sensitivity (%) (95%CI)	Specificity (%) (95%CI)	AUC (95%CI)
Current guidelines				
Moderate	3.0	100 (98.8 – 100)	78.8 (75.3 – 82.0)	0.89 (0.88 – 0.91)
Vigorous	6.0	83.1 (76.9 – 88.1)	92.1 (89.9 – 94.0)	0.88 (0.85 – 0.91)

Continued

Intensity thresholds		Sensitivity (%) (95%CI)	Specificity (%) (95%CI)	AUC (95%CI)
Overall sample				
Moderate	4.9	92.4 (88.8 – 95.1)	91.5 (88.9 – 93.6)	0.92 (0.90 – 0.94)
Vigorous	6.8	77.2 (70.6 – 83.0)	96.0 (94.3 – 97.3)	0.87 (0.84 – 0.90)
Sex				
<u>Male</u>				
Moderate	5.6	85.8 (78.7 – 91.2)	96.8 (94.4 – 98.4)	0.91 (0.88 – 0.94)
Vigorous	7.2	98.7 (92.9 – 100)	93.8 (91.0 – 96.0)	0.96 (0.97 – 0.98)
<u>Female</u>				
Moderate	3.8	96.4 (92.4 – 98.7)	97.5 (94.6 – 99.1)	0.97 (0.95 – 0.99)
Vigorous	5.5	84.1 (76.0 – 90.3)	90.2 (86.2 – 93.3)	0.87 (0.83 – 0.91)
Age				
<u>20 – 39 years</u>				
Moderate	4.9	92.9 (88.5 – 96.0)	91.9 (88.8 – 94.4)	0.92 (0.90 – 0.95)
Vigorous	6.6	84.3 (76.7 – 90.1)	95.6 (93.4 – 97.3)	0.90 (0.87 – 0.93)
<u>40 – 60 years</u>				
Moderate	4.6	94.6 (87.8 – 98.2)	90.0 (84.8 – 93.9)	0.92 (0.89 – 0.95)
Vigorous	5.6	80.6 (68.6 – 89.6)	92.7 (88.5 – 95.8)	0.87 (0.81 – 0.92)
BMI				
<u>Normal</u>				
Moderate	5.0	93.0 (87.9 – 96.5)	91.1 (87.2 – 94.1)	0.92 (0.90 – 0.95)
Vigorous	7.0	80.8 (71.7 – 88.0)	96.3 (93.7 – 98.0)	0.89 (0.85 – 0.93)

Continued

	Intensity thresholds	Sensitivity (%) (95%CI)	Specificity (%) (95%CI)	AUC (95%CI)
<u>Overweight/obesity</u>				
Moderate	5.0	86.9 (80.3 – 91.9)	94.2 (90.9 – 96.6)	0.91 (0.88 – 0.94)
Vigorous	6.4	74.4 (64.2 – 83.1)	96.0 (93.4 – 97.8)	0.85 (0.81 – 0.90)
Physical fitness				
<u>Low</u>				
Moderate	4.0	96.3 (92.6 – 98.5)	94.0 (90.7 – 96.4)	0.95 (0.93 – 0.97)
Vigorous	6.4	70.4 (61.6 – 78.2)	99.2 (97.6 – 99.8)	0.84 (0.80 – 0.88)
<u>High</u>				
Moderate	6.2	92.9 (86.4 – 96.9)	99.0 (97.0 – 99.8)	0.96 (0.93 – 0.98)
Vigorous	8.2	92.2 (82.7 – 97.4)	95.8 (93.1 – 97.7)	0.94 (0.91 – 0.98)

Relative intensity thresholds based on %VO₂max (light, <46%; moderate, 46 – 63.9%; vigorous, ≥64%) were used as criterion measure.

In Table 5 the overall thresholds identified in the analytical sample (4.9 METs for moderate and 6.8 METs for vigorous physical activity) were applied to each subgroup previously evaluated and, thereafter, sensitivity, specificity and AUC were calculated. Among men and participants with high physical fitness, despite not showing difference in terms of AUC, specificity from the specific moderate thresholds (96.8; 95%CI: 94.4 – 98.4 and 99.1; 95%CI: 97.0 – 99.8, respectively – Table 4) were higher compared to those based on overall estimates (86.4; 95%CI: 82.3 – 89.8 and 85.3; 95%CI: 80.7 – 89.2, respectively – Table 5). However, it was not identified for all other evaluated subgroups in terms of moderate thresholds. Regarding vigorous physical activity thresholds, differences were found only among women. The vigorous threshold, based on the overall sample, presented higher specificity (99.0; 95%CI: 97.1 – 99.8 – Table 5) than its specific threshold (90.2; 95%CI: 86.2 – 93.3 – Table 4). Moderate and vigorous intensity thresholds from the overall sample showed high AUC values when applied to specific groups, where the lowest values were identified among women and

participants from 40 to 60 years old (0.81; 95%CI: 0.76 – 0.85 and 0.81; 95%CI: 0.75 – 0.87, respectively).

Table 5 – Sensitivity, specificity and AUC from overall thresholds (4.9 METs for moderate and 6.8 METs for vigorous) applied to specific groups.

Sample groups	Intensity thresholds	Sensitivity (%) (95%CI)	Specificity (%) (95%CI)	AUC (95%CI)
Male				
	Moderate	94.0 (88.6 – 97.4)	86.4 (82.3 – 89.8)	0.90 (0.88 – 0.93)
	Vigorous	100 (95.3 – 100)	93.8 (91.0 – 96.0)	0.97 (0.96 – 0.98)
Female				
	Moderate	91.1 (85.8 – 94.9)	98.7 (96.4 – 99.7)	0.95 (0.93 – 0.97)
	Vigorous	61.9 (52.3 – 70.9)	99.0 (97.1 – 99.8)	0.81 (0.76 – 0.85)
20 – 39 years				
	Moderate	92.9 (88.5 – 96.0)	91.9 (88.8 – 94.4)	0.92 (0.90 – 0.95)
	Vigorous	82.7 (75.0 – 88.8)	96.0 (93.9 – 97.6)	0.89 (0.86 – 0.93)
40 – 60 years				
	Moderate	91.3 (83.6 – 96.2)	90.5 (85.4 – 94.3)	0.91 (0.87 – 0.95)
	Vigorous	66.1 (53.0 – 77.7)	95.9 (92.4 – 98.1)	0.81 (0.75 – 0.87)
Normal BMI				
	Moderate	95.6 (91.1 – 98.2)	89.7 (85.6 – 92.9)	0.93 (0.90 – 0.95)
	Vigorous	80.8 (71.7 – 88.0)	96.0 (93.4 – 97.8)	0.88 (0.84 – 0.92)
Overweight/obesity BMI				
	Moderate	89.0 (82.7 – 93.6)	93.2 (89.7 – 95.8)	0.91 (0.88 – 0.94)
	Vigorous	73.3 (63.0 – 82.1)	96.0 (93.4 – 97.8)	0.85 (0.80 – 0.89)

Continued

Sample groups	Intensity thresholds	Sensitivity (%) (95%CI)	Specificity (%) (95%CI)	AUC (95%CI)
Low physical fitness				
	Moderate	88.0 (82.5 – 92.2)	97.3 (94.8 – 98.8)	0.93 (0.90 – 0.95)
	Vigorous	67.2 (58.2 – 75.3)	99.7 (98.5 – 100)	0.84 (0.79 – 0.88)
High physical fitness				
	Moderate	100 (96.8 – 100)	85.3 (80.7 – 89.2)	0.93 (0.91 – 0.95)
	Vigorous	96.9 (89.2 – 99.6)	91.9 (88.5 – 94.6)	0.94 (0.92 – 0.97)

Discussion

The present study evaluated validity parameters of thresholds based on absolute physical activity intensities (expressed in METs) according to the current guidelines [3], and original thresholds using %VO₂max classification as a criterion measure. Our results indicated higher thresholds for moderate (4.9 METs) and for vigorous activity (6.8 METs) than current recommended thresholds found in the literature.

A necessary discussion to interpret our results is regarding the most adequate criterion measure to define light, moderate and vigorous physical activity. It is important to highlight the absence of a gold standard to classify physical activity intensities and, therefore, absolute or relative intensities were applied. These two methods are highly correlated to define time spent in different physical activity intensities and might be similar across laboratorial studies based on a homogeneous sample in terms of sex, age and physical fitness. Nevertheless, considering population-based samples (higher heterogeneity), absolute intensities might result in misclassification and wider differences between absolute and relative thresholds [16].

Thereafter, absolute thresholds were presented according to an adequate analytical process, in which the criterion measure consisted in categories of relative intensity based on %VO₂max. The thresholds

were identified according to the greatest sum between sensitivity and specificity and, consequently, with the highest accuracy. Although no difference in terms of accuracy was identified comparing our overall thresholds to the recommended one, there were differences in the sensitivity and specificity parameters.

Absolute intensity thresholds have been widely applied in epidemiology association-based studies and also used as criterion measure in calibration studies of questionnaires and accelerometers. However, it might not be the most adequate procedure. Esliger *et al* (2011) [11], for example, discussed in an accelerometer calibration study that absolute thresholds currently recommended could be lower than the correct intensity classification. In their study, calibration analyses used 4.0 METs and 7.0 METs to classify the criterion measure as moderate and vigorous physical activity, respectively.

Using lower intensity thresholds, which usually present higher sensitivity, but lower specificity and accuracy, misclassification in terms of physical activity will be likely higher. For example, applying the widely recommended thresholds proposed in 1995 [17], an activity such as walking slowly (≤ 2.0 mph or ≤ 3.2 km·h⁻¹) will be considered as a light physical activity, presenting an oxygen uptake lower than 3.0 METs. However, Esliger *et al* (2011) [11], identified an average oxygen uptake of 3.9 (± 0.7) METs for a slightly faster walking (4.0 km·h⁻¹), which exceeded almost 1.0 MET the recommended threshold. In the present analyses, the average oxygen uptake for a 3.0 km·h⁻¹ walking was 3.0 (± 0.6) METs, similar to Esliger *et al* (2011) [11], which would be considered as a moderate physical activity according to the current guidelines [17, 3].

Considering the health benefits attributed to higher physical activity intensities [3], lower intensity thresholds with lower specificity, such as the recommended ones, might overestimate moderate physical activity practice, by including light physical activities in this category. This misclassification may attenuate physical activity effects on health outcomes, such as mental health and hypertension, which are associated mostly to moderate physical activity [16]. Furthermore, overestimation of vigorous physical activity might bias the effect of physical activity on cardiovascular diseases and osteoporosis, for example, which is mostly influenced by this physical activity intensity [16].

Group-specific thresholds were also presented in this study due to the possible influence of sex, age, nutritional status and physical fitness on physical activity intensity thresholds. Our hypothesis was that group-specific thresholds would present higher accuracy. However, most group-specific analyses refuted such hypothesis (Table 4 and 5). Differences in sensitivity and specificity parameters were identified only among men and women, and among participants with high physical fitness. In these groups, specific thresholds could be considered a useful alternative to the overall thresholds based on the complete analytical sample.

Some limitations must be considered to interpret the present results. The sample was selected by convenience and included only healthy participants. Despite the heterogeneity regarding characteristics that could possibly influence physical activity intensities (sex, age, nutritional status and physical fitness), our sample should not be considered representative of a general adult population.

Furthermore, the applied protocol was restricted to nine activities, which represent some, but not all free-living activities. On the other hand, the activities chosen might be considered representative of most adult activities during the awake period.

Our VO_2max measurements were obtained through an ergometer cycle instead of treadmill exercise protocol. We are aware that VO_2max values obtained in treadmill and cycling are different for most individuals, as cycling is not a regular exercise for most individuals and less body mass is used during this exercise. Nevertheless, in our sample, none of the individuals were cyclists, thus, we believe that a strong correlation would exist between cycling and treadmill VO_2 peak values. Furthermore, individuals sampled were not familiar with walking/running in the treadmill, therefore, cycling on an ergometer was easier and safer when conducting tests to exhaustion and obtaining the maximum aerobic power values.

The $\% \text{VO}_2\text{max}$ reserve was not considered for the analyses. However, it would not imply relevant differences from our results, since the resting VO_2max values were very similar among the individuals. This approach is in accordance with other studies [11, 18, 19].

Considering as strength of the present study, the oxygen uptake measurement was performed using indirect calorimetry, which is considered a gold standard to evaluate oxygen uptake in laboratorial settings [20, 21]. Finally, another strength is the relatively large sample size analysed for a calibration study with complex physical activity protocol. More than a hundred participants had their VO_{2max} evaluated expressing relative physical activity intensities as a criterion measure and performed the complete research protocol.

Conclusion

The physical activity thresholds generated according to the entire sample (having as a criterion measure intensity categories based on $\%VO_{2max}$ and identified from higher sum of sensitivity and specificity) were higher and presented higher specificity when compared to thresholds currently recommended. Moreover, these parameters presented relatively high accuracy, including when specifically applied to groups of sex, age, nutritional status and physical fitness. Therefore, the overall thresholds, as well as those related specifically to men and women, might be an important alternative to minimize physical activity intensity misclassification. The present results contribute towards more accurate physical activity intensity estimates and highlight the relevance of a better understanding regarding the impact of physical activity intensity thresholds in health outcomes.

Acknowledgements

I would like to acknowledge all Brazilian taxpayers who have allowed me to improve my scientific knowledge in a public graduate program.

References

1. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical Activity, Exercise, and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports*. 1985;100(2):126-31.

2. Bauman A. Updating the evidence that physical activity is good for health - an epidemiological review 2000-2003. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2004;7(1):6-19.
3. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA et al. Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*. 2007;39(8):1423-34.
4. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and science in sports and exercise*. 2011;43(7):1334-59. doi:10.1249/MSS.0b013e318213febf.
5. Shephard RJ. Qualified Fitness and Exercise as Professionals and Exercise Prescription: Evolution of the PAR-Q and Canadian Aerobic Fitness Test. *Journal of Physical Activity and Health*. 2015;12(4):454-61.
6. Guedes DP, Guedes JERP. Practical guide for physical assessment for physical education. São Paulo: Manole; 2006.
7. Wahrlich V, Anjos LA, Going SB, Lohman TG. Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate. *Clinical Nutrition*. 2006;25(4):687-92. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2006.01.002.
8. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*. 2001;37(1):153-6.
9. Hildebrand M, Van Hees Vt Fau - Hansen BH, Hansen Bh Fau - Ekelund U, Ekelund U. Age-Group Comparability of Raw Accelerometer Output from Wrist- and Hip-Worn Monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2014;46(9):1816-24.

10. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs DR, Jr., Montoye HJ, Sallis JF et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine and science in sports and exercise*. 1993;25(1):71-80.
11. Esliger DW, Rowlands AV, Hurst TL, Catt M, Murray P, Eston RG. Validation of the GENEActiv Accelerometer. *Medicine and science in sports and exercise*. 2011;43(6):1085-93. doi:10.1249/MSS.0b013e31820513be.
12. World OH. Obesity: preventing and managing the global epidemic. World Health Organization; 2000.
13. Ferguson B. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 9th Ed. 2014. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*. 2014;58(3):328.
14. Sterne JA, Smith GD. Sifting the evidence-what's wrong with significance tests? *Physical therapy*. 2001;81(8):1464-9.
15. du Prel J-B, Hommel G, Röhrig B, Blettner M. Confidence Interval or P-Value?: Part 4 of a Series on Evaluation of Scientific Publications. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2009;106(19):335-9.
16. Shephard RJ. Absolute versus relative intensity of physical activity in a dose-response context. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001;33(6 Suppl):S400-18; discussion S19-20.
17. Pate RR, Pratt M, Blair SN, et al. Physical activity and public health: A recommendation from the centers for disease control and prevention and the american college of sports medicine. *JAMA*. 1995;273(5):402-7. doi:10.1001/jama.1995.03520290054029.
18. Phillips LR, Parfitt G, Rowlands AV. Calibration of the GENEActiv accelerometer for assessment of physical activity intensity in children. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*. 2013;16(2):124-8.

19. Hildebrand M, Van Hees VT, Hansen BH, Ekelund U. Age-Group Comparability of Raw Accelerometer Output from Wrist- and Hip-Worn Monitors. *Medicine and science in sports and exercise*. 2014;46(9):1816-24.
20. Lagerros YT, Lagiou P. Assessment of physical activity and energy expenditure in epidemiological research of chronic diseases. *European journal of epidemiology*. 2007;22(6):353-62. doi:10.1007/s10654-007-9154-x.
21. Warren JM, Ekelund U, Besson H, Mezzani A, Geladas N, Vanhees L et al. Assessment of physical activity - a review of methodologies with reference to epidemiological research: a report of the exercise physiology section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2010;17(2):127-39.

SEÇÃO 4. ARTIGO 3
(Este artigo será submetido à *Medicine & Science in Sports & Exercise*)

Title: Physical activity intensities based on accelerometry: calibration study and thresholds application

Running title: Physical activity intensities based on accelerometry

Authors:

Márcio de Almeida Mendes¹ (marciopenha.esef@yahoo.com.br);

Inácio Crochemore Mohnsam da Silva¹ (inacio_cms@yahoo.com.br);

Virgílio Viana Ramires¹ (virgiloramires@hotmail.com);

Felipe Fossati Reichert² (ffreichert@gmail.com);

Alex Rowlands³ (alex.rowlands@leicester.ac.uk);

Elaine Tomasi¹ (tomasiet@gmail.com).

1 - Post-Graduate Program in Epidemiology, Federal University of Pelotas, Brazil;

2 - Physical Education School, Federal University of Pelotas, Brazil;

3 - Diabetes Research Centre, University of Leicester, United Kingdom.

Corresponding Author: Márcio de Almeida Mendes

E-mail: marciopenha.esef@yahoo.com.br

Rua Marechal Deodoro, 1160, CEP: 96020-220, Pelotas, Brazil.

Fax: +55 (53) 3284 – 1300

Telephone: +55 (53) 3284 – 1300

Abstract

The present study aimed (1) to elaborate cut-points to classify physical activity (PA) intensities using accelerometry, adopting different criterion measure proposals; and (2) to compare moderate to vigorous physical activity (MVPA) estimates according to the different cut-point proposals in young adults from population-based study. A total of 112 adult volunteers were recruited to participate in the calibration study. Participants performed a maximum oxygen uptake test based on cycle ergometer protocol and were submitted to nine common PA in free-living. The oxygen uptake was continuously measured by a mixing-box-type portable gas analyser and PA measures were collected using wrist-worn accelerometers. Receiver Operator Characteristic (ROC) curve analysis was performed to generate PA intensity thresholds, using different criterion measures from calorimetry indirect data. PA intensity thresholds were applied in free-living accelerometer data from 23-years follow-up of the 1993 Pelotas Birth Cohort Study. A total of 85 and 2,896 valid accelerometry data were obtained in the calibration study and 1993 Pelotas Birth Cohort Study, respectively. Using the MVPA intensity threshold of 65 mg (based on the current physical guidelines – 3.0 METs) as reference to the comparisons, median obtained with the MVPA threshold of 94 mg (based on 4.9 METs) was 125 minutes lower ($p<0.001$). Among men and women, MVPA threshold of 268 and 82 mg (based on 5.6 and 3.8 METs) presented also a lower median in minutes (240 and 84 minutes, respectively – $p<0.001$). In conclusion, the criterion measure on calibration analytical process in accelerometry exerts an important influence regarding to intensity thresholds identified and consequently on the minutes spent with MVPA.

Keywords: Accelerometry; Raw data accelerometer; Intensity thresholds; Physical activity measure.

Introduction

Accelerometers are motion sensors that allow the assessment of PA duration, frequency and intensity, which have been currently representing, along with the questionnaires, the main measurement instruments for PA in large-scale studies ¹.

However, accelerometers might be considered a relatively new method of measurement, and therefore, it is still susceptible to improvements, mainly regarding to interpretation of acceleration output.

According to the research purpose of PA studies, whether as outcome or as exposure, it is essential to identify the PA performed in accordance to their intensities. In order to distinguish PA intensities from acceleration output, accelerometry calibration studies establish equivalence relationship between acceleration data with biological measures (such as energy expenditure) and behavioural measures (such as time spent with light, moderate and vigorous PA) ². Nevertheless, it is important to highlight that most of cut-points proposed by the calibration studies are identified from absolute intensity thresholds as criterion measure, under the unit of metabolic equivalents (METs) and considering the current PA guidelines (light PA, <3 METs; moderate PA, 3 - 6 METs; vigorous PA, \geq 6 METs) ³. These intensity categories, although often used in the scientific context, do not present results regarding their validity parameters (sensitivity, specificity and accuracy). The misclassification inherent to the criterion measure might bias the accelerometry-based measurements, resulting in under or overestimation of light, moderate or vigorous PA practice. In this context the present study aimed (1) to elaborate cut-points to classify PA intensities using accelerometry, adopting different criterion measure proposals; and (2) to compare MVPA estimates according to the different cut-point proposals in young adults from population-based study.

Methods

The present article is based on data from two different studies. Characteristics of such study are described separately.

Calibration study

Study design and sample

The study was carried out between April and September 2016 in Pelotas (Brazil). Pelotas is a southern Brazilian city with around 345,000 inhabitants in 2017. A total of 112 adults were sampled by convenience. In the sampling process, there was an intention to include participants heterogeneously in terms of sex, age and current PA practice (as an attempt to have different groups of physical fitness). Volunteers with chronic diseases (such as diabetes, cardiovascular or pulmonary diseases) were considered as an exclusion criterion for participation. Readiness for PA practice was assessed by the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) ⁴, excluding those potential participants presenting at least one positive answer. This study was approved by the Ethic Committee of the Medicine School - Federal University of Pelotas (UFPel), according to the protocol number 1.258.787/2015. All participants voluntarily signed a written informed consent and they could abandon the study at any time.

Measures

Data collection of the calibration study was performed in two visits to the Laboratory of Physiology and Biochemistry of the Exercise at the Physical Education School - UFPel. There was a maximum interval of 10 days between each visit, and participants were instructed to avoid vigorous PA practices and food intake in the two hours before the tests.

In the first visit, the weight and height of the participants were measured using an electronic scale Soehnle Professional 7755® (1 g precision) and a wall mounted stadiometer Standard Sanny® (1 cm precision), respectively. Participants were also carried out a maximum oxygen uptake (VO₂max) test based on an adapted protocol of Balke ⁵ in a cycle ergometer Ergo-Fit 1200®. The oxygen uptake was continuously measured by a mixing-box-type portable gas analyser (VO2000, MedGraphics; Ann Arbor, USA) ⁶, previously calibrated according to manufacturer's specifications.

In the second visit, participants were submitted to nine free-living activities (Table 1), based on a previous accelerometer calibration study ⁷. The ninth activity, the most intense one, was not mandatory, being performed according to the participants' physical conditions. During all activities, the oxygen uptake was measured using the same procedures applied in the first visit. More details about the measure protocol performed in the two visits are available elsewhere ⁸. The accelerometer used was the ActiGraph wGT3X-BT models (ActiGraph, Pensacola, FL, USA) (AG). These devices are lightweight (27 g) and compact (3.8 × 3.7 × 1.8 cm). The AG accelerometer measure body

movements on three orthogonal axes vertical (Y), horizontal right-left (X), and horizontal front-back axis (Z) ⁹. Participants wore the accelerometers on non-dominant wrist (dorsally midway between the radial and ulnar styloid processes), programmed to collect raw acceleration at 60 Hz.

Data reduction

In the calibration study, devices were programmed and accelerometer data were downloaded using ActiLife 6.13.3. The accelerometer data were expressed in gravitational equivalent units called milli-gravity (mg; 1000mg = 1g = 9.81 m/s²). Three-dimensional data (from axes X, Y, and Z) were summarizing into a single-dimensional signal vector magnitude (SVM = $\sum |\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - 1g|$) ¹⁰. To evaluate the period in which participants were in steady state in each activity a data reduction was performed and the average 5-seconds value of the last 2 minutes of MET and SVM values of each activity was used to identify the cut-points. The data analyses were performed in R-package GGIR (<http://cran.r-project.org>). More details about these analytical procedures are available elsewhere ¹⁰⁻¹².

1993 Pelotas Birth Cohort Study

Study design

All live births in the city's hospitals in the year of 1993, of mothers living in the urban area of the city of Pelotas, Brazil, were included in 1993 Pelotas Birth Cohort Study. Follow-ups were performed at ages of 1, 3 and 6 months and 1, 3, 6, 9, 11, 15, 18 and 23 years. The participants were invited to attend the Postgraduate Program in Epidemiology outpatient clinic, where they underwent medical examinations and completed questionnaires. More details on the methods used cohort visits can be found in previous studies ^{13,14}. In this article we analysed accelerometry data collected during the last follow-up.

Accelerometry

The raw data of 3,008 participants were extracted in the software ActiLife 6.13.3. Subsequently, non-human movement filtering, time-of-use validation (at least a 24-hour cycle), calibration, and others, were performed in R-package GGIR (<http://cran.r-project.org>). Full descriptions of these criteria for assessing the quality of data are available in other publications ^{10,12}. After this process, data quality plots were verified for each of the participants. Of the 3,008 data submitted to processing, 2,896 were considered valid for the analyses. The model, placement, programming and data reduction of the accelerometers were the same as those used in the calibration study.

Data reduction criteria in calibration study were the same to the cohort study's data. Average time spent in MVPA per week (expressed in minutes) was defined using 10-minute-bouts criterion. Bout criterion were defined as consecutive periods in which participants spent at least 80% of time in activities with intensity equal or higher the MVPA threshold.

Analyses

The relationship between oxygen uptake (METs) and accelerometer output during the nine physical activities performed was analysed using the Spearman correlation test.

After data reduction, an average of the oxygen uptake ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{minute}^{-1}$) of each activity was calculated and later converted to METs ($1 \text{ MET} = 3,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{minute}^{-1}$)¹⁵. The same procedure was performed for the raw accelerometer output. The SVM values were analysed as a continuous variable, while the variables used as criterion measure of PA intensity were classified: a) (light, < 3 METs; moderate, $3 - 6$ METs; vigorous, ≥ 6 METs)³; b) (light, $< 4,9$ METs; moderate $4,9 - 6,8$ METs; vigorous, $\geq 6,8$ METs)⁸. The latest threshold proposal is the result of another study, originated from the same sample/study and based on relative intensity thresholds: light, $< 46\%$ of the maximum oxygen uptake ($\% \text{VO}_2\text{max}$); moderate, $46 - 63\%$; vigorous, $\geq 64\%$ ¹⁶. The MET values was dichotomized as (a) light vs. moderate to vigorous and (b) vigorous vs. lower than vigorous.

ROC curve analysis was performed to generate PA intensity thresholds, according to the higher sum between sensitivity (identifying correctly activities above the thresholds) and specificity (identifying correctly activities below the thresholds). Similar analytical procedures were used by other studies¹⁷. This same analyses process was carried out stratified by sex.

For the comparisons between the mean of MVPA minutes/week was used the paired Wilcoxon Signed Rank Test.

Results

A total of 103 participants attended the two visits, and 85 valid accelerometry data were obtained (44 men and 41 women). The average age and height were 35.1 (SD \pm 11.0) years old and 169.0 (SD \pm 9.0) cm, 50.6% were classified as normal weight and 61,1% presented average or higher physical fitness (Table 2).

The relationship between oxygen uptake and the accelerometer output during the nine physical activities presented a correlation coefficient of 0.94 (Figure 1).

The PA intensity thresholds from different criterion measure proposals are presented in Table 3. Regardless brands and placements of accelerometer use, sex-based intensity thresholds were different from those obtained for the overall sample. The moderate and vigorous intensity thresholds were different according to the criterion measures used, however all the proposals presented high validity parameters (AUC above 0.88) (Table 3).

Table 4 presents the comparison between the means and the medians of minutes spent with MVPA/week according to different PA intensity thresholds applied in the 23-years follow-up of the 1993 Pelotas Birth Cohort Study. The median of MVPA minutes obtained with the threshold based on the current PA guidelines was used as reference to describe the comparisons. For the overall sample, median obtained with the MVPA threshold based on 4.9 METs was 125 minutes lower ($p<0.001$). Among men and women, MVPA threshold based on 5.6 and 3.8 METs presented also a lower median in minutes (240 and 84 minutes, respectively – $p<0.001$). The median of MVPA minutes obtained from the 268 mg threshold was zero, since more than 75% (76.3%) of men did not perform activities above of this intensity threshold.

Discussion

There are different approaches of analyses among accelerometry calibration studies as regression models, machine learning algorithms and ROC curve analysis¹⁸. Our study identified PA intensity thresholds through ROC curve, which enable the arbitrary choice of intensity thresholds (giving priority to sensitivity or specificity) according to the purpose in which these thresholds will be applied. In our analyses, we identified the intensity thresholds (moderate and vigorous), adopting the cut-point with the highest sum between sensitivity and specificity as the criterion of choice.

The intensity thresholds from the accelerometry calibration studies are influenced by different aspects such as sample characteristics, protocol of physical activities and criterion measures adopted¹⁹. Each of these issues will be discussed throughout this section.

Elaborating a laboratory protocol of physical activities able to accurately simulate the activities performed during habitual free-living is an essential methodological aspect for the accelerometry calibration analyses and also a difficult challenge. Thus, based on the methodology used by another study⁷, we adopted a protocol of nine physical activities, ranging from sedentary activities to vigorous physical activities, seeking to simulate as much as possible a set of common movement patterns from daily life.

Regarding the sample selection process, most of the accelerometry calibration studies, due to the complexity of data collection, present small and not representative samples from population groups¹⁸. Our sample was relatively large (101 adults completed both visits to laboratory) and, and although participants were selected for convenience, we sought to ensure heterogeneity regarding characteristics as gender, age, body composition and physical fitness (variables that influence of PA intensity relative to each subject)¹⁶. This sample composition may be determinant in order for reproducing high values of sensitivity, specificity and accuracy when applied these intensity thresholds to overall adult samples. However, this hypothesis still needs to be tested by other studies that assess the cross-validity of these thresholds.

As in other studies^{7, 17, 20}, we found a high validity for accelerometer data from wrist-worn. The accelerometer outputs explained 88% of the energy expenditure variability. Considering validity results, as well as greater compliance to wrist-worn accelerometer in free-living settings compared to others placements such as waist-worn²¹, the choice to place the accelerometer on the wrist may represent an advantageous alternative to obtain more complete and representative data of habitual PA.

Among the different aspects that influence the results of accelerometry calibration studies, the criterion measure adopted is determinant to obtain valid intensity thresholds and consequently more reliable PA estimates. The use of absolute intensity thresholds as criterion measure may cause important misclassifications, since important individual characteristics as age, sex, body weight and physical fitness are not considered¹⁶. In this context, our study proposed intensity thresholds from

different criterion measures. All METs-based thresholds used as reference are absolute intensity limits. However, our alternative proposals (overall sample: 4.9 and 6.8 METs; male: 5.6 and 7.2 METs; female: 3.8 and 5.5 METs) were elaborated from individual values of %VO₂max. Our results showed that the use of different criterion measures impacted the MVPA estimates. Consistent with our results, Leinonen et al (2016) ²², when estimating MVPA from the 3 and 3.5 MET thresholds found discrepant estimates (daily mean: 64.6 and 32.1 minutes). These results suggest that, in addition to MVPA estimates, the association analyses of PA with different health outcomes are also strongly influenced according to the choice of the criterion measure.

The results also showed that the MVPA estimates from intensity thresholds for overall sample and specific sex were different. Therefore, the use of specific criterion measures for men and women is an important methodological aspect to be considered by the accelerometry calibration studies, since the PA intensities are not absolute for these two groups of their physiological differences as discussed previously.

Although the validity parameters from intensity thresholds identified are relevant to assessing the misclassification in PA measures, study designs that allow direct measurements of minutes spent with MVPA in free-living conditions (e.g. participants' daily monitoring using phone calls or instant messaging applications) are important to identify which intensity thresholds provide estimates that are closer to the reality.

Conclusion

The criterion measure on calibration analytical process in accelerometry exerts an important influence regarding to intensity thresholds identified and consequently on the minutes spent with MVPA. In addition, the use of specific criteria measures for men and women is a important methodological aspect to be considered, since the MVPA estimates obtained from specific intensity thresholds were different compared to those obtained from the overall sample cut-points.

References

1. Yang CC, Hsu YL. A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring. *Sensors (Basel)* 2010;10(8):7772-7788.
2. Romanzini M, Petroski EL, Reichert FF. Limiares de acelerômetros para a estimativa da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano* 2012;14(1):101-113.
3. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, et al. Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2007;39(8):1423-1434.
4. Shephard RJ. Qualified Fitness and Exercise as Professionals and Exercise Prescription: Evolution of the PAR-Q and Canadian Aerobic Fitness Test. *Journal of Physical Activity and Health* 2015;12(4):454-461.
5. Ayabe M, Kumahara H, Morimura K, et al. Epoch length and the physical activity bout analysis: an accelerometry research issue. *BMC Res Notes* 2013;6:20.
6. Wahrlich V, Anjos LA, Going SB, et al. Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate. *Clinical Nutrition* 2006;25(4):687-692.
7. Hildebrand M, Van Hees Vt Fau - Hansen BH, Hansen Bh Fau - Ekelund U, et al. Age-Group Comparability of Raw Accelerometer Output from Wrist- and Hip-Worn Monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2014;46(9):1816-1824.
8. Mendes MA, da Silva ICM, Ramires VV, et al. Metabolic Equivalent Task (METs) thresholds as an indicator of physical activity intensity. *PLoS One* Forthcoming 2018.
9. Engineering/Marketing A . ActiLife users manual . Pensacola, FL : ActiGraph, 2009.
10. van Hees VT, Gorzelniak L, Dean Leon EC, et al. Separating movement and gravity components in an acceleration signal and implications for the assessment of human daily physical activity. *PLoS One* 2013;8(4):e61691.
11. da Silva ICM, van Hees VT, Ramires VV, et al. Physical activity levels in three Brazilian birth cohorts as assessed with raw triaxial wrist accelerometry. *International Journal of Epidemiology* 2014;43(6):1959-1968.
12. van Hees VT, Fang Z, Langford J, et al. Autocalibration of accelerometer data for free-living physical activity assessment using local gravity and temperature: an evaluation on four continents. *J Appl Physiol (1985)* 2014;117(7):738-744.

13. Araújo CL, Menezes AMB, Vieira MdFA, et al. The 11-year follow-up of the 1993 Pelotas (Brazil) birth cohort study: methods. *Cadernos de Saúde Pública* 2010;26:1875-1886.
14. Goncalves H, Assuncao MC, Wehrmeister FC, et al. Cohort profile update: The 1993 Pelotas (Brazil) birth cohort follow-up visits in adolescence. *Int J Epidemiol* 2014;43(4):1082-1088.
15. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(1):71-80.
16. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43(7):1334-1359.
17. Esliger DW, Rowlands AV, Hurst TL, et al. Validation of the GENEActiv Accelerometer. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2011;43(6):1085-1093.
18. Bassett DR, Jr., Rowlands A, Trost SG. Calibration and validation of wearable monitors. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44(1 Suppl 1):S32-38.
19. Matthews CE. Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(11 Suppl):S512-522.
20. Zhang S, Rowlands AV, Murray P, et al. Physical activity classification using the GENEActiv wrist-worn accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44(4):742-748.
21. Freedson PS, John D. Comment on "estimating activity and sedentary behavior from an accelerometer on the hip and wrist". *Med Sci Sports Exerc* 2013;45(5):962-963.
22. Leinonen AM, Ahola R, Kulmala J, et al. Measuring Physical Activity in Free-Living Conditions-Comparison of Three Accelerometry-Based Methods. *Front Physiol* 2016;7:681.
23. Ferguson B. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 9th Ed. 2014. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association* 2014;58(3):328-328.

Table 1 – Description of the nine structured activities.

Order	Activity (minutes)	Description
1 ^a	Lying down (10')	Lying in supine position awake, with arms on the side, avoiding bodily movement.
2 ^a	Sitting (5')	Sitting in a chair, using the computer.
3 ^a	Standing (5')	Standing on the floor, using mobile phone.
4 ^a	Circuit (5')	Sitting, putting on shoes, standing, moving eight things on a desk, writing a message on a mobile phone, and sitting down again. Repeat.
5 ^a	Slow walking, 3 km·h ⁻¹ (5')	Walking on a treadmill.
6 ^a	Brisk walking, 6 km·h ⁻¹ (5')	Walking on a treadmill.
7 ^a	Step (5')	At the beginning of minute two and four, walking up a step (20 cm high) 15 times. The rest of the time, walking on the treadmill at 6 km·h ⁻¹ .
8 ^a	Running, 8 km·h ⁻¹ (5')	Running on a treadmill.
9 ^a	Intermittent running, 10 km·h ⁻¹ and 12 km·h ⁻¹ (5')	Running at 10 km·h ⁻¹ for 60 seconds, alternating with running at 12 km·h ⁻¹ for 30 seconds on a treadmill.

Table 2 – Sample description according to demographic, nutritional and physiological variables.

Variables	N	%
Sex		
Male	44	51.8
Female	41	48.2
Age (years)		
20-29	30	35.3
30-39	29	34.1
40-49	11	12.9
50-60	15	17.7
Height (cm)		
<160	10	11.8
160 – 169	35	41.1
170 – 179	27	31.8
≥180	13	15.3
BMI (kg/m²)		
Normal (<25.0)	43	50.6
Overweight (25.0 – 29.9)	35	41.2
Obesity (≥30.0)	7	8.2
Physical fitness*		
Very bad	5	5.9
Bad	10	11.8
Below average	18	21.2
Average	16	18.8
Above average	16	18.8
Good	9	10.6
Excellent	11	12.9
Total	85	100.0

*The limits of physical fitness categories are expressed as maximum oxygen uptake (ml·kg⁻¹·minute⁻¹) based on ACSM's Guidelines²³.

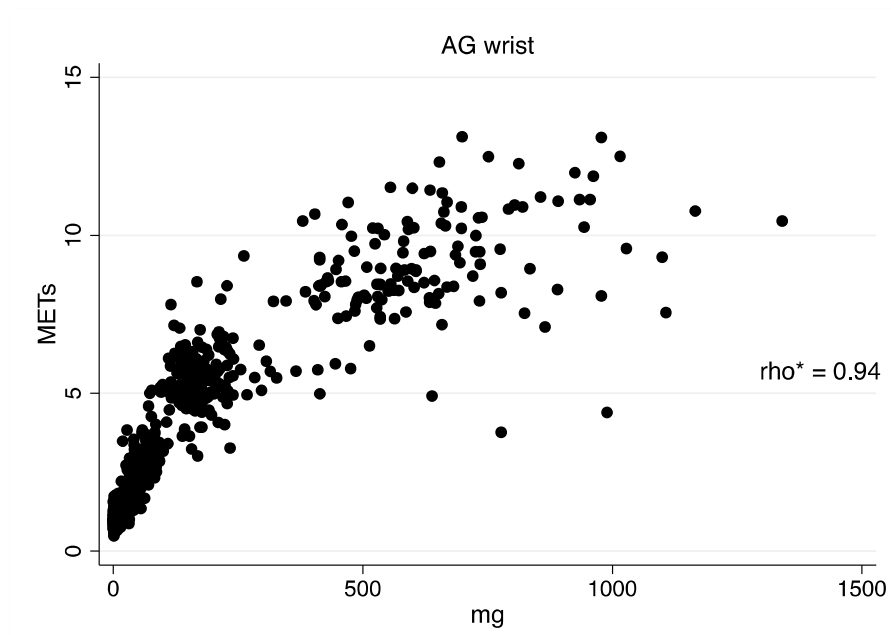


Figure 1 – Relationship between oxygen uptake and raw accelerometer output during nine physical activities. *Spearman correlation coefficient.

Table 3 – PA intensity thresholds from different criterion measure proposals.

Criterion measure	mg	Sensitivity (%) (95%CI)	Specificity (%) (95%CI)	AUC (95%CI)
Overall				
Moderate (≥ 3 METs) ^{&}	65	95.3 (92.5 – 97.3)	94.3 (91.5 – 96.5)	0.95 (0.93 – 0.97)
Vigorous (≥ 6 METs)	292	77.8 (70.8 – 83.9)	98.0 (96.4 – 99.0)	0.88 (0.85 – 0.91)
Male				
Moderate (≥ 5.6 METs)	268	79.8 (70.5 – 87.2)	98.6 (96.4 – 99.6)	0.89 (0.85 – 0.93)
Vigorous (≥ 7.2 METs)	379	96.1 (89.0 – 99.2)	98.7 (96.6 – 99.6)	0.97 (0.95 – 100)
Female				
Moderate (≥ 3.8 METs)	82	97.8 (93.8 – 99.6)	97.0 (93.5 – 98.9)	0.97 (0.96 – 0.99)
Vigorous (≥ 5.5 METs)	174	85.1 (76.7 – 91.4)	92.8 (88.7 – 95.7)	0.89 (0.85 – 0.93)

[&]PA intensity thresholds according to current PA guidelines ³.

[#]PA intensity thresholds originated from the same sample/study and based on %VO₂max ⁸.

Table 4 – Mean (\pm SD), interquartile range and median of MVPA (min/week) from adult participants of the Pelotas (Brazil) Birth Cohort Study - 1993, according to different PA intensity thresholds.

MVPA thresholds		Mean (\pmSD)	Interquartile range	Median	<i>p</i>
<u>Overall sample</u>					<0.001
	mg				
≥ 3 METs ^{&}	65	274.1 (\pm 267.8)	196.5 – 351.4	196.5	
≥ 4.9 METs [#]	94	114.3 (\pm 144.9)	72.0 – 147.0	72.0	
<u>Male</u>					<0.001
≥ 3 METs	65	334.3 (\pm 320.0)	240.2 – 432.0	240.4	
≥ 5.6 METs [#]	268	8.8 (\pm 25.4)	0.0 – 328.5	0.0	
<u>Female</u>					<0.001
≥ 3 METs	65	217.2 (\pm 190.3)	165.5 – 282.1	165.5	
≥ 3.8 METs [#]	82	115.9 (\pm 115.5)	81.7 – 157.8	81.9	

[&]PA intensity threshold according to current PA guidelines ³.

[#]PA intensity thresholds originated from the same sample/study and based on %VO₂max ⁸.

SEÇÃO 5. COMUNICADO À IMPRENSA

Mensuração de atividade física: o estudo deste complexo comportamento por meio de acelerômetros

Atividade física pode ser caracterizada como um comportamento de complexa avaliação, considerando sua diversidade em relação aos diferentes tipos de atividades e dimensões como frequência, intensidade e duração.

Tendo em vista a complexidade deste comportamento, existem diferentes métodos que permitem estimar a prática de atividade física, porém não há um “*padrão ouro*” para sua medida.

Atualmente, os acelerômetros (aparelhos portáteis que captam os movimentos corporais em diferentes eixos e permitem avaliar de forma objetiva a duração, frequência e intensidade das atividades físicas) são um dos principais instrumentos de medida neste campo de pesquisa.

Sobre as diferentes formas de mensuração da atividade física, os acelerômetros por coletarem as informações de movimento em tempo real, permitem evitar o que chamamos de “viés de informação” presente no auto relato obtido com os questionários de atividade física. Com o auto relato, grande parte das pessoas acabam relatando o que gostariam de ter realizado ao invés de responder o que de fato realizaram, fazendo com que o tempo de atividade física informado seja maior que do que o verdadeiro.

No entanto, apesar de suas vantagens, trata-se de um instrumento relativamente novo e, em consequência disto, passível ainda de aprimoramentos, principalmente no que diz respeito à interpretação das informações fornecidas e à distinção das intensidades de cada atividade física realizada.

Neste contexto, a tese de doutorado do professor de Educação Física, Márcio de Almeida Mendes, realizada no Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia da Universidade Federal de Pelotas, sob orientação da professora Dr. Elaine Tomasi, teve como principal objetivo criar alternativas que permitam interpretar os sinais de aceleração fornecidos por acelerômetros de modo a classificar as atividades físicas quanto suas diferentes intensidades (por exemplo, como leves, moderadas e vigorosas).

O estudo contou com uma amostra de 112 adultos. Os participantes compareceram em dois dias diferentes ao Laboratório de Fisiologia e Bioquímica da Escola Superior de Educação Física da UFPel para coleta das informações necessárias ao estudo.

As alternativas criadas para classificação das intensidades de atividade física foram desenvolvidas seguindo critérios diferentes. A primeira proposta de classificação foi elaborada de acordo com as recomendações atuais de atividade física o qual baseiam-se em categorias de intensidade absoluta (assume que uma determinada intensidade de atividade física é igual para todas as pessoas). Já a segunda proposta desenvolvida com base em categorias de intensidade relativa (assume que uma determinada intensidade de atividade física pode ser diferente de acordo com as características de cada pessoa).

A estimativa de atividade física moderada a vigorosa/semana, conforme o limiar de intensidade obtido com o primeiro critério, foi mais elevada que a obtida com o segundo, sendo em média 160 minutos superior.

Os resultados mostram que o uso de diferentes critérios para definição das intensidades de atividade física com dados de acelerômetros impactaram em uma diferença importante entre as estimativas finais de atividade física moderada a vigorosa.

Portanto, apesar das vantagens dos acelerômetros como instrumento de medida das atividades físicas, ainda é preciso avançar em relação à tradução de suas informações. Isto permitirá obter medidas mais confiáveis, contribuindo para um melhor entendimento sobre a influência da prática de atividade física à saúde.