



FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

**TRABALHO FINAL DO 6º ANO MÉDICO COM VISTA À ATRIBUIÇÃO DO
GRAU DE MESTRE NO ÂMBITO DO CICLO DE ESTUDOS DE MESTRADO
INTEGRADO EM MEDICINA**

FÁBIO DANIEL MANO DE OLIVEIRA

***EXERCÍCIO FÍSICO NO TRATAMENTO DA
SARCOPENIA NO ENVELHECIMENTO***

ARTIGO DE REVISÃO

ÁREA CIENTÍFICA DE GERIATRIA

**TRABALHO REALIZADO SOB A ORIENTAÇÃO DE:
PROFESSOR DOUTOR MANUEL TEIXEIRA MARQUES VERÍSSIMO
DR. HELDER FILIPE DE CUNHA ESPERTO**

JANEIRO/2013



O exercício físico no tratamento da sarcopenia no envelhecimento

Autor: Fábio Daniel Mano de Oliveira

Afiliação: Faculdade de Medicina, Universidade de Coimbra, Portugal

Endereço eletrónico: fabio.dmo89@gmail.com

Orientador: Professor Doutor Manuel Teixeira Marques Veríssimo

Afiliação: Faculdade de Medicina, Universidade de Coimbra, Portugal e Centro Hospitalar e

Universitário de Coimbra, Portugal

Endereço eletrónico: mtverissimo@gmail.com

Co-orientador: Dr. Helder Filipe da Cunha Esperto

Afiliação: Faculdade de Medicina, Universidade de Coimbra, Portugal e Centro Hospitalar e

Universitário de Coimbra, Portugal

Endereço eletrónico: helder_esperto@portugalmail.pt

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS	2
RESUMO	4
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO	8
MATERIAIS E MÉTODOS	9
DESENVOLVIMENTO	10
1. Definição de sarcopenia e sua prevalência	10
2. Alterações musculares relacionadas com o envelhecimento	16
3. Etiologia da sarcopenia	17
4. Consequências da sarcopenia	19
4.1. Diminuição do desempenho físico	19
4.2. Alterações metabólicas, doenças crônicas e aumento da mortalidade	22
5. Exercício físico e o idoso	23
5.1. Treino aeróbio (“<i>Endurance training</i>”)	25
5.2. Treino anaeróbio contra resistência (“<i>Resistance Training</i>”)	27
5.3. Tratamento conjunto: exercício aeróbio e exercício anaeróbio contra resistência	32
CONCLUSÃO	34
AGRADECIMENTOS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

[25(OH)D]	-	25-hidroxivitamina D
AIT	-	Treino aeróbio intervalado
ASM	-	Massa muscular esquelética apendicular
ATP	-	Adenosina trifosfato
AVC	-	Acidente vascular cerebral
AVD	-	Atividades de vida diária
DEXA	-	Absorimetria de raios X de dupla energia
EUA	-	Estados Unidos da América
EWGSOP	-	<i>European Working Group on Sarcopenia in Older People</i>
GH	-	Hormona de crescimento
ICD-10	-	<i>International Classification of Diseases-10</i>
IGF-1	-	<i>Insulin-like growth factor-1</i>
IL	-	Interleucina
LASA	-	<i>Longitudinal Aging Study Amsterdam</i>
mRNA	-	Ácido ribonucleico mensageiro
NHANES III	-	<i>Third National Health and Nutrition Examination Survey</i>
PCR	-	Proteína C reativa
PRT	-	Treino contra resistência progressivo
RM	-	Repetição máxima
SMI	-	Índice de massa muscular esquelética
SPPB	-	<i>Short Physical Performance Battery</i>
TC	-	Tomografia computadorizada
TNF-α	-	Fator de necrose tumoral- α
VO₂ max	-	Volume de oxigénio máximo

Wmax - Trabalho máximo

RESUMO

Este estudo tem como objetivo apresentar a contínua evolução dos conhecimentos sobre sarcopenia e em particular sobre o efeito do exercício físico no seu tratamento, com base numa revisão da literatura científica existente entre o ano de 1991 e 2012, utilizando a interface de pesquisa PubMed da Medline. A sarcopenia, inicialmente definida como a perda de massa muscular decorrente do envelhecimento, tem hoje um significado mais amplo. A proposta de definição pelo *European Working Group on Sarcopenia in Older People* inclui não só a perda de massa muscular, como também a perda de força muscular e a diminuição do desempenho funcional. A prevalência varia muito consoante a definição e métodos de medição usados e a população estudada. É comum a todos os estudos o facto de a prevalência aumentar com a idade. A sarcopenia tem como consequências a diminuição do desempenho físico e incapacidade funcional. Associado a ela existe um aumento da prevalência de várias doenças crónicas e um maior risco de mortalidade. O exercício físico apresenta-se como uma forma de tratamento promissora. Demonstrou-se que o exercício físico aeróbio não é suficiente na manutenção ou aumento da massa e força muscular. Contudo tem benefícios funcionais, revertendo algumas das consequências funcionais da sarcopenia. O exercício anaeróbio contra resistência é mais eficaz no tratamento da sarcopenia. Este tipo de treino leva a um aumento da massa, força e potência muscular, bem como a um melhor desempenho funcional e melhoria na realização das atividades de vida diária. Neste treino demonstrou-se que quanto maior for a intensidade de exercício, maior a eficácia do treino. Dentro do treino anaeróbio contra resistência, os treinos de elevada velocidade de contração e os treinos que privilegiem a contração muscular excêntrica são mais eficazes no tratamento da sarcopenia. A combinação de exercício aeróbio com o exercício anaeróbio contra resistência não tem benefício adicional em comparação com os treinos anaeróbios contra resistência isolados. São

necessários mais estudos, para se definir um programa de exercício físico, eficaz e seguro no idoso sarcopénico e que se consiga implementar no seu quotidiano.

PALAVRAS-CHAVE: envelhecimento, sarcopenia, exercício físico, treino anaeróbio contra resistência, exercício aeróbio, força muscular, desempenho físico

ABSTRACT

This study aims to present the ongoing development of knowledge about sarcopenia and in particular on the effect of exercise on their treatment, based on a review of the scientific literature between 1991 and 2012, using the PubMed interface of Medline. Sarcopenia, initially defined as the loss of muscle mass due to aging, has now a broader meaning. The definition proposed by the European Working Group on Sarcopenia in Older People includes not only the loss of muscle mass, but also the loss of muscle strength and the decline of functional performance. The prevalence varies greatly according to the different definitions and measurement methods used and to the different populations studied. It is common to all studies that the prevalence increases with aging. Sarcopenia has as consequences a decreased physical performance and functional disability. It is associated with an increased prevalence of several chronic diseases and an increased risk of mortality. Exercise training is presented as a promising form of treatment. It has been demonstrated that endurance exercise is not sufficient for maintaining or increasing muscle mass and strength. However it has functional benefits, reversing some of the functional consequences of sarcopenia. Resistance exercise is more effective in the treatment of sarcopenia. Such practice leads to an increase of muscle mass, strength and power and to a better functional performance and an improvement in the performance of daily activities. It has been shown that the higher the exercise intensity, the greater the effectiveness of the training. Within the resistance training, the high speed trainings and those that emphasize eccentric muscle contraction are more effective in the treatment of sarcopenia. The combination of endurance exercise with resistance exercise has no additional benefit when compared to isolated resistance exercise. Further studies are needed to define an effective and safe exercise program in elderly sarcopenic that can be implemented in their daily life.

KEYWORDS: aging, sarcopenia, exercise therapy, resistance training, aerobic exercise, muscle strength, athletic performance

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se observado uma alteração do padrão demográfico, com um notório envelhecimento da população, o que leva a um aumento da frequência das patologias mais comuns ou próprias destas faixas etárias. Nessas patologias inclui-se a sarcopenia, que foi inicialmente definida como a perda de massa muscular decorrente do envelhecimento.¹ Atualmente a sarcopenia tem um significado mais amplo, compreendendo a perda de massa e força muscular, bem como um fraco desempenho funcional. A sarcopenia está associada a uma diminuição da qualidade de vida, a um aumento do uso dos cuidados médicos e aumento dos custos financeiros, tanto para os doentes como para o estado.²

Logo, torna-se extremamente importante encontrar formas de atuação que permitam atrasar, parar ou reverter a sarcopenia, promovendo assim uma melhor função muscular e melhor qualidade de vida para o idoso, reduzindo também os custos que a sarcopenia acarreta. O exercício físico apresenta-se como uma forma económica e potencialmente eficaz de tratamento da sarcopenia. Adquire ainda maior importância pelo facto de ser um tipo de tratamento facilmente acessível pela população idosa.

Este estudo tem como objetivo apresentar a contínua evolução dos conhecimentos sobre sarcopenia e em particular sobre o efeito do exercício físico no seu tratamento, com base na revisão da literatura científica existente.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tema foi revisto utilizando a interface de pesquisa PubMed da Medline, através das seguintes equações de pesquisa: "*Sarcopenia and (resistance training OR strength training OR power training OR endurance training)*" e "*Sarcopenia and (definition OR epidemiology OR prevalence OR etiology OR consequences)*". Ainda foram realizadas pesquisas mais especializadas, juntando às equações anteriores os termos *muscle strength, muscle power, muscle mass, physical performance, leisure activities, falls* e *eccentric exercise*. A pesquisa foi restringida a artigos em inglês e espanhol, publicados desde o ano 1991 até à atualidade (Julho de 2012). Os artigos foram selecionados pela relevância do seu conteúdo, pelo que alguns foram excluídos pelo facto de existirem artigos semelhantes mais relevantes e mais recentes.

DESENVOLVIMENTO

1. Definição de sarcopenia e sua prevalência

O termo sarcopenia foi utilizado pela primeira vez em 1988, por Irwin Rosenberg¹. Esta palavra deriva dos termos gregos “*sarx*” e “*penia*”, sendo que “*sarx*” significa carne e “*penia*” significa perda e foi na altura utilizada para descrever a perda de massa muscular decorrente do envelhecimento.¹ À medida que o conhecimento sobre o processo de envelhecimento se foi aprofundando, foram surgindo novas definições de sarcopenia, surgindo atualmente com um significado mais amplo do que apenas perda de massa muscular decorrente do processo de envelhecimento.

Vinte e cinco anos após o reconhecimento da sarcopenia como uma condição clínica distinta, a sua definição ainda é ativamente discutida, tanto a nível do seu conceito como quanto à sua relevância clínica, não se tendo ainda chegado a um consenso de uma definição operacional internacional aplicável às diferentes populações.

Na tentativa de responder a este problema, o EWGSOP (*European Working Group on Sarcopenia in Older People*), desenvolveu uma definição que compreende três critérios: diminuição da massa muscular, diminuição da força muscular e baixo desempenho funcional. Esta definição subdivide este fenómeno em três estádios: pré-sarcopenia, sarcopenia e sarcopenia grave. A pré-sarcopenia é caracterizada pela diminuição da massa muscular, com manutenção da força muscular e do desempenho funcional. A sarcopenia é caracterizada pela diminuição da massa muscular juntamente com um dos seguintes critérios: diminuição da força muscular ou diminuição do desempenho funcional. Quanto à sarcopenia grave, ela compreende os três critérios.^{2,3} A razão para que se usem três critérios no seu diagnóstico é o facto da força muscular não depender unicamente da massa muscular e devido à relação entre massa muscular e força não ser linear. Logo, definir sarcopenia apenas em termos de perda de massa muscular seria extremamente redutor e de reduzido valor clínico,² contudo, a nível da

literatura internacional, o termo sarcopenia ainda é utilizado na maioria das vezes como referindo-se somente à perda de massa muscular. Atualmente a sua definição ainda não está contemplada e reconhecida na ICD-10 (*International Classification of Diseases-10*), muito devido à ausência de consenso na sua definição.⁴

Várias técnicas de medição têm sido propostas para realizar o seu diagnóstico, técnicas essas que utilizam como variáveis, tanto a massa muscular, como a força muscular ou desempenho funcional.² Tudo isto leva a que haja uma discrepância dos valores de prevalência, apresentados segundo diferentes métodos de avaliação e tendo como base diferentes populações. Baumgartner et al⁵ foram os primeiros a desenvolver uma definição operacional e a efetuar um estudo sobre a prevalência da sarcopenia no Novo México (EUA). Neste estudo a sarcopenia foi definida como o quociente da massa muscular esquelética apendicular (ASM) pelo quadrado da altura, sendo que ASM (soma da massa muscular dos membros) foi estimada através de DEXA (absorimetria de raios X de dupla energia). Os valores de *cutoff* específicos para o sexo feminino e masculino, foram definidos como dois desvios padrão abaixo da média encontrada em amostras de referência de indivíduos entre os 18 e os 30 anos de idade do estudo Rosetta.⁶ Assim, foram definidos como valores de *cutoff*, 5,45 kg/m² para as mulheres e 7,26 kg/m² para os homens, que demonstraram estar associados com perturbações de equilíbrio, incapacidade na realização das AVD (atividades de vida diárias) e quedas durante o ano anterior. Neste estudo, a prevalência da sarcopenia variou entre 13% e 24% nos indivíduos com idade inferior a 70 anos (prevalência maior no sexo feminino), sendo que estes valores aumentaram para valores acima dos 50%, nos indivíduos com mais de 80 anos (exceto nas mulheres não hispânicas, onde esta prevalência foi de 43,2%). De salientar que a prevalência variou segundo a etnia (foi ligeiramente maior nos indivíduos hispânicos) e que as frequências mais elevadas foram detetadas no sexo feminino.⁵ Outros estudos utilizaram a mesma técnica de medição e os mesmos valores de *cutoff* em

populações diferentes, tendo encontrado prevalências diferentes. O estudo realizado por Iannuzzi et al⁷, realizado em indivíduos caucasóides de *Connecticut* (EUA), detetou taxas de prevalência de 26,8% e 22,6% em homens e mulheres, respetivamente, com idade superior ou igual a 65 anos. Estes valores aumentaram para 52,9% e 31% em homens e mulheres, respetivamente, quando a população se encontrava na faixa etária acima dos 80 anos. Rolland et al, numa população feminina acima de 70 anos, de Toulouse (França), obtiveram uma taxa de prevalência bastante mais baixa, de apenas 9,5%.⁸ Estudos realizados em populações asiáticas sugerem que valores de *cutoff* inferiores são mais apropriados para a identificação da sarcopenia nessas populações.^{9,10} Outros investigadores utilizaram outras técnicas de medição. Jansen et al¹¹ estimaram a massa muscular esquelética a partir da análise por bioimpedância elétrica e exprimiram-na como índice de massa muscular esquelética (SMI, do inglês, *skeletal muscle mass index* = massa muscular esquelética / massa corporal x 100). Como população de referência foi utilizada uma amostra representativa da população dos EUA com idades compreendidas entre os 18 e os 39 anos (NHANES III - *Third National Health and Nutrition Examination Survey*).¹¹ Neste estudo foram definidas 2 classes de sarcopenia, sendo que a classe I compreendia os indivíduos com valores de SMI entre -1 e -2 desvios padrão dos valores de adultos jovens (homens: 37%-31%; mulheres: 28%-22%), e a classe II compreendia aqueles com SMI abaixo de 2 desvios padrão (homens: <31%; mulheres: <22%). Com esta técnica de medição e nesta população, foi possível observar que a prevalência da sarcopenia aumentou desde a 3ª década de vida até à 6ª década, e manteve-se relativamente constante a partir da 6ª década. Para os indivíduos com idade igual ou superior a 60 anos a prevalência de sarcopenia de classe I foi, aproximadamente, de 59% nas mulheres e de 45% nos homens. Quanto à sarcopenia de classe II, a prevalência reduziu-se para 10% nas mulheres e 7% nos homens. Lauretani et al¹², por outro lado, propuseram definições alternativas e calcularam as respetivas prevalências. A população em estudo era proveniente

da Toscana (Itália) e como variáveis, utilizaram a medição da circunferência muscular das regiões gemelares medida por TC (tomografia computadorizada), o momento de força (do inglês *torque* - τ) de extensão do joelho [produto da intensidade F da força pela distância d do centro de rotação à linha de ação da força (figura 1) $\rightarrow \tau = F.d$], o poder de extensão da perna e a força de preensão da mão.

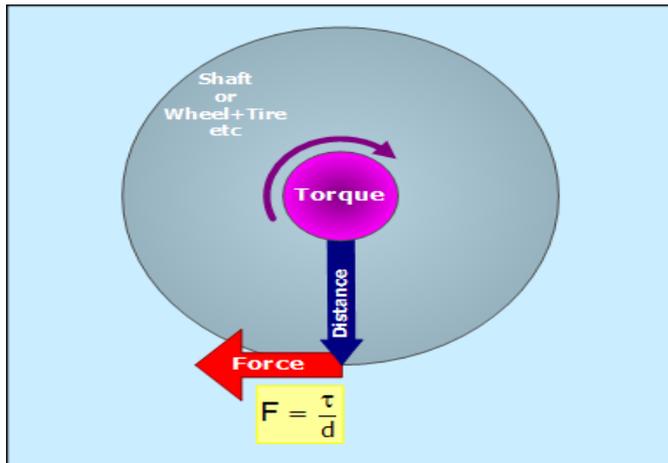


Figura 1. Momento de força

(Adaptado de *Craig's Website* em <http://craig.backfire.ca/pages/autos/horsepower>)

Os valores de *cutoff* para sarcopenia foram definidos como sendo todos os valores abaixo de 2 desvios padrão. Foi possível observar que os valores de prevalência variaram imensamente, consoante a técnica de medição utilizada, o sexo e a idade, tendo variado entre 2% e 100% na mesma população (Tabela 1).¹² Já Visser et al, utilizando como população, os participantes do LASA (*Longitudinal Aging Study Amsterdam*) com idades compreendidas entre os 55 e os 85 anos de idade, definiram sarcopenia com base na força de preensão da mão e na massa muscular esquelética apendicular obtida por DEXA. Para a força de preensão da mão definiram sarcopenia como a perda de 40% da força após 3 anos de *follow-up*, sendo obtida uma prevalência de 13,5%. Quanto às medições da massa muscular esquelética apendicular, a sarcopenia foi definida como a diminuição de 3% após 3 anos de *follow-up*, compreendendo assim, 15,7% dos participantes.¹³ Na tabela 1 encontra-se um resumo dos estudos de prevalência descritos anteriormente.

Tabela 1. Prevalência da Sarcopenia

H= Homens; M= Mulheres; DEXA= absorptometria de raios X de dupla energia; BIA= bioimpedância elétrica; ASM= massa muscular esquelética apendicular; TC= tomografia computadorizada; h= altura; Hisp=hispanicos; N-Hisp= Não hispanicos; NHANES III= Third National Health and Nutrition Survey; SMI= Índice de Massa muscular esquelética; EUA= Estados Unidos da América.

Estudo	População	Método	Definição	Cutoff	Idades	Prevalência	
						Masculino	Feminino
Baumgartner et al ⁵	Novo México (EUA)	DEXA	ASM/h ²	H<7,26kg/m ² M<5,45kg/m ²	<70	Hisp=16,9% N-Hisp=13,5%	Hisp=24,1% N-Hisp=23,1%
	Hispanic:221H, 209M				70-75	Hisp=18,3% N-Hisp=19,8%	Hisp=35,1% N-Hisp=33,3%
	N-Hisp:205H, 173M				75-80	Hisp=36,4% N-Hisp=26,7%	Hisp=35,3% N-Hisp=35,9%
					>80	Hisp=57,6% N-Hisp=52,6%	Hisp=60% N-Hisp=43,2%
Iannuzzi et al ⁷	Connecticut (EUA)	DEXA	ASM/h ²	H<7,26kg/m ² M<5,45kg/m ²	≥65	26,8%	22,6%
	142H, 195M				>80	52,9%	31%
Rolland et al ⁸	Toulouse (França)	DEXA	ASM/h ²	M<5,45kg/m ²	>70		9,5%
	1311M						
Jansen et al ¹¹	NHANES III (EUA)	BIA	SMI	Classe I- H(37-31%) M(28-22%)	60-69	Classe I – 47% Classe II – 6%	Classe I – 59% Classe II – 9%
					70-79	Classe I – 42% Classe II – 7%	Classe I – 57% Classe II – 11%
				Classe II- H<31% M<22%	≥80	Classe I – 43% Classe II – 7%	Classe I – 61% Classe II – 11%
Lauretani et al ¹²	Toscânia (Itália)	TC; Dinamometria	1)Circunferência gastrocnemius	1) H<6058cm ² M<4286cm ²	65-74	1)16,1% 2)20,9%	1)2,75% 2)52,2%
			2)Momento de força de extensão do joelho	2) H<397N/dm F<311N/dm	75-85	3)57,8% 4)60%	3)98,0% 4)40,0%
			3)Poder de extensão da perna	3) H<162W M<160W		1)35,1% 2)36,1%	1)11,2% 2)73,1%
			4)Força de preensão da mão	4) H<41kg M<19kg	>85	3)88,7% 4)83,5%	3)100% 4)47,8%
Visser et al ¹³	Holanda	DEXA; Dinamometria	1)ASM	1)↓3%	≥65	1)68,2% 2)81,8%	1)5,7% 2)85,7%
			2)Força de preensão da mão	2)↓40%		3)100% 4)95,5%	3)100% 4)71,4%
	1509 Participantes					1)15,7%	2)13,5%

Esta discrepância de técnicas utilizadas e de valores de prevalência denota a ausência de uma definição operacional que permita a detecção desta patologia de forma estandardizada e que possa ser aplicada a todas as populações. Com o intuito de solucionar isto o EWGSOP recomenda, para a identificação da diminuição de massa e de força muscular, o uso de populações de referência normativas (jovens adultos saudáveis) e que se use como valores de *cutoff*, valores abaixo de 2 desvios padrão (valores dependentes das técnicas de medição e dos estudos que servem de referência). O grupo de trabalho faz ainda um alerta para a necessidade urgente de se obter bons valores de referência para a força e massa muscular para as diferentes populações mundiais. Quanto à avaliação do desempenho funcional, está disponível uma variada gama de testes. Apesar do EWGSOP não ter feito nenhuma recomendação específica acerca do teste mais indicado a usar para a avaliação do desempenho, foi dada especial atenção no seu relatório ao teste de velocidade de marcha e ao SPPB (*Short Physical Performance Battery*).² O SPPB avalia o equilíbrio, marcha, força e resistência ao examinar a capacidade da pessoa se manter em pé com os pés juntos lado-a-lado, com um pé à frente do outro (posição *semi-tandem*) e um calcanhar à frente do pé contrário, encostado ao hálux (posição *tandem*); tempo que demora a percorrer 2,44 m (8 pés); e, tempo que demora a levantar-se de uma cadeira e a sentar-se 5 vezes seguidas, sem auxílio dos membros superiores. Para cada teste do SPPB é dada uma pontuação que varia de 0 a 4, dando um total de 12. Pontuações totais de 8 ou inferiores podem ser usadas como indicadores de fraco desempenho funcional.¹⁴ Para o teste de marcha foi sugerido um *cutoff* de 0,8 m/s ou mais (num percurso de 4 a 6 metros), como indicador de baixo desempenho funcional (figura 2).¹⁵

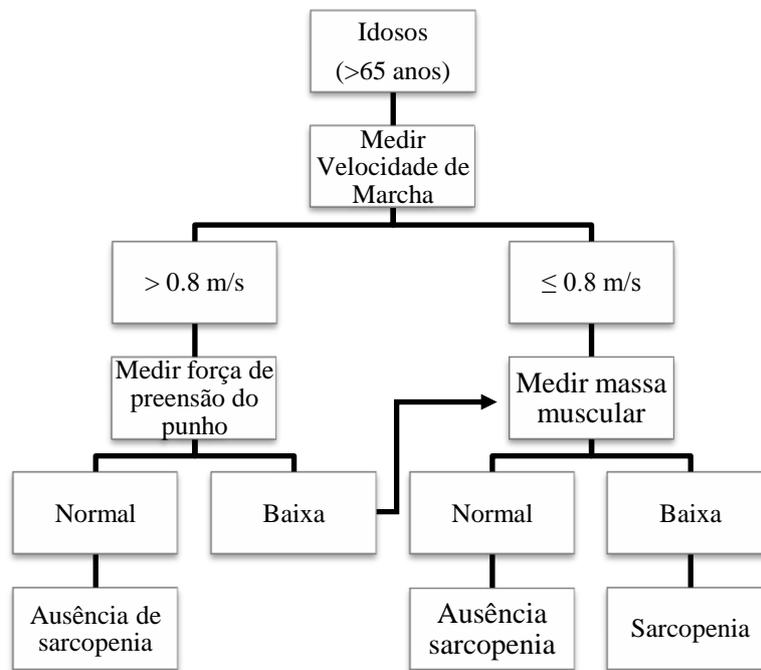


Figura 2. Algoritmo definido pelo EWGSOP para a identificação de idosos com sarcopenia.
(Adaptado de Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, et al³)

2. Alterações musculares relacionadas com o envelhecimento

Tanto no sexo masculino como no sexo feminino a perda muscular devida ao envelhecimento começa por volta da quarta década de vida, com as maiores perdas a ocorrerem após os 50 anos.^{16,17} A perda de massa muscular é superior nos homens¹⁸ e nos membros inferiores,¹⁷ o que foi atribuído, em parte, à redução da atividade física no envelhecimento. Com a idade, observa-se uma maior perda das fibras musculares tipo II (fibras rápidas) que leva a um aumento relativo da densidade das fibras musculares tipo I (fibras lentas).¹⁹ Estas alterações conduzem a que haja uma perda mais acelerada de potência muscular (habilidade de gerar força rapidamente), em comparação com a perda de força e resistência muscular.²⁰ Muitas atividades do dia-a-dia, tais como levantar de uma cadeira, caminhar e subir escadas, requerem mais potência muscular do que somente força muscular, o que faz com que a perda deste tenha um forte significado clínico, na medida em que está muito relacionado com o desempenho funcional e qualidade de vida.^{21,22}

3. Etiologia da sarcopenia

Apesar do termo ser largamente utilizado na população médica e científica, as causas para o seu aparecimento são ainda pouco conhecidas, estando já comprovados certos fatores que promovem a sarcopenia. A diminuição do número de neurónios motores α parece ser, em grande medida, responsável pela perda de massa muscular, mas existem outros fatores, como, a diminuição da atividade física, alteração do *status* hormonal, a diminuição da ingestão calórica e proteica, o aumento de mediadores inflamatórios e fatores que levem a uma diminuição da síntese proteica, que estão já identificados como importantes fatores etiológicos.¹⁶ Em geral tem sido postulado que com o envelhecimento existe uma diminuição, ou resistência, de fatores anabólicos e um potencial aumento de influências catabólicas no músculo esquelético, que propiciam o fenómeno da sarcopenia.¹⁶

Com o envelhecimento existe uma diminuição de testosterona e androgénios produzidos nas glândulas supra-renais. Vários estudos epidemiológicos apoiam a relação entre a diminuição de testosterona e a diminuição de massa muscular, força muscular e o desempenho funcional.^{23,24} Os estrogénios também estão relacionados com efeitos anabólicos a nível muscular, devido em parte à sua conversão em testosterona.²⁵ Os estrogénios nas mulheres reduzem-se de forma dramática após a menopausa, contribuindo assim para o aumento do catabolismo muscular. Os estrogénios e a testosterona podem também inibir a produção de IL-1 e IL-6, levando a que uma diminuição destas hormonas possa ter um efeito catabólico indireto a nível muscular.²⁶ A redução da hormona de crescimento (GH), do *Insulin-like Growth Factor-1* (IGF-1), bem como dos níveis circulantes de 25-hidroxivitamina D [25(OH)D], também foram implicados como fatores contributivos da sarcopenia e podem ser agravados quando estão em associação com a redução de atividade física ou com nutrição inadequada.¹⁶ A inflamação crónica de baixo grau que acompanha o envelhecimento, refletida no aumento dos níveis de TNF- α , IL-6 e proteína C reativa (PCR),^{26,27} pode exercer um efeito

catabólico no tecido muscular.²⁸ Os elevados níveis de adiposidade visceral em idosos obesos estão associados a um estado inflamatório crônico de baixo grau o que predispõe a uma perda acelerada de massa muscular, levando à designada obesidade sarcopénica (perda de massa muscular com manutenção ou aumento da massa gorda corporal).²⁹ Várias citocinas inflamatórias, sobretudo o TNF- α e IL-6, têm sido associadas com a sarcopenia, com o fraco desempenho físico, com a perda acelerada de força muscular e massa magra e com incapacidade funcional.³⁰⁻³²

À medida que os anos vão avançando, surge uma evidente diminuição da ingestão alimentar, a designada *anorexia do envelhecimento*. Tentar achar uma causa para esta anorexia seria pretensioso, visto que existem múltiplos fatores responsáveis, tais como, o mau estado dentário, a solidão, a diminuição da mobilidade e capacidade funcional, a deterioração das condições económicas, maior prevalência de certas doenças, tais como os AVCs (Acidentes Vasculares Cerebrais), que podem cursar com disfagia, demências, entre outras. Mesmo sendo difícil identificar todas as causas para o seu surgimento, é certo que a anorexia que surge no envelhecimento contribui muito para o desenvolvimento e para a progressão da sarcopenia.³³ Quando essa perda de massa muscular é grave, pode conduzir a um quadro de caquexia e progressiva incapacidade funcional (*frailty syndrome* – síndrome de fragilidade do idoso).^{33,34} Ainda não está claro se esta *anorexia do envelhecimento* contribui para a sarcopenia devido ao reduzido consumo de proteínas, abaixo dos níveis necessários para a manutenção da massa muscular, ou devido à ingestão reduzida de nutrientes essenciais na dieta, onde se inclui a creatina.¹⁶

Por último, a inatividade física é um dos principais factores que contribui para a sarcopenia relacionada com o envelhecimento. Está provado que mulheres e homens idosos fisicamente menos ativos possuem menos massa muscular e maior incapacidade funcional.¹⁶ Apesar de ser difícil estabelecer uma relação de causa-efeito entre a inatividade física e a

sarcopenia, existem vários estudos que demonstram que o exercício físico está relacionado com a massa de músculo esquelético e com a força muscular.^{35,36}

4. Consequências da sarcopenia

4.1. Diminuição do desempenho físico

No estudo transversal realizado por Baumgartner et al⁵ concluiu-se que a probabilidade dos indivíduos idosos com sarcopenia terem incapacidade funcional é 4 vezes maior em comparação com os idosos com massa muscular normal. Neste estudo a sarcopenia foi associada ao aumento de quedas durante o ano anterior à colheita de dados.⁵ No NHANES III, os idosos com sarcopenia grave apresentaram uma probabilidade aumentada (2 a 3 vezes superior) de terem compromisso funcional e incapacidade física, quando comparados com idosos com massas musculares normais. No *Health Aging and Body Composition Study*, os idosos com a massa muscular esquelética abaixo do percentil 20 (ajustada à altura e à massa gorda) foram 80% a 90% mais propícios a desenvolver alterações na mobilidade quando comparados àqueles com massa muscular esquelética acima do percentil 80.³⁷ Nestes estudos transversais, independentemente da definição usada para identificar a sarcopenia (todas elas baseadas na diminuição da massa muscular), a associação entre a sarcopenia e a diminuição do desempenho funcional foi moderada a forte. Contudo, devido à falta de temporalidade destes estudos transversais, não é possível inferir uma relação de causalidade entre a sarcopenia e a perturbação funcional, pois tanto a diminuição da massa muscular pode levar à incapacidade e deficiência funcional, tal como, a incapacidade e deficiência funcional podem levar à diminuição da estimulação muscular e com isso à perda de massa muscular. Estudos de coorte poderão assim providenciar evidência epidemiológica mais forte no que concerne à relação causa-efeito entre a sarcopenia e a diminuição do desempenho funcional. No estudo de coorte *Cardiovascular Health Study*, após 8 anos de *follow-up*, os idosos com sarcopenia

grave apresentavam um risco aumentado (27%) de desenvolver incapacidade física com compromisso das AVD, quando comparados com os idosos com massas musculares normais. Quanto aos idosos com sarcopenia moderada, o risco de desenvolver incapacidade física não foi significativamente maior quando comparado com idosos de massas musculares normais.³⁸ No mesmo estudo, a probabilidade dos idosos com sarcopenia grave desenvolverem incapacidade física no início do estudo era 79% superior quando comparados com aqueles com massas musculares de valores normais.³⁸ Logo o efeito da sarcopenia na incapacidade física foi 3 vezes menor na análise longitudinal do que na análise transversal. Um artigo publicado com base no estudo coorte *Health Aging and Body Composition* indica que a dimensão dos músculos ao nível da coxa (secção transversal na zona mediana da coxa) medida com recurso a TC é um indicador fraco de incapacidade física após acompanhamento de 2 anos e meio.³⁹ O mesmo relatório afirma que a associação entre a diminuição da massa muscular e o declínio funcional parece ser intermediada pela perda de força muscular subjacente. Estes estudos longitudinais parecem demonstrar que os efeitos da sarcopenia nos distúrbios funcionais e incapacidade física inferidos nos estudos transversais são significativamente sobrestimados.

De acordo com a definição de sarcopenia do EWGSOP, atualmente ela não compreende somente a diminuição de massa muscular, contendo na sua definição a perda de força muscular e a diminuição do desempenho funcional.² Apesar de existirem estudos transversais que apoiam a relação causa-efeito entre a perda de massa muscular e a perda de força muscular,⁴⁰ os resultados de estudos longitudinais vieram questionar essa relação.⁴¹ Hughes et al demonstraram através de um estudo longitudinal com *follow-up* de 10 anos que uma pequena percentagem da diminuição de força muscular observada com a idade é atribuída à diminuição da massa muscular, sendo necessária mais pesquisa acerca dos fatores contribuintes para essa perda de força.⁴² Outro aspeto que parece ser a favor desta ausência de

relação causal é o facto dos mecanismos que propiciam a diminuição de massa muscular serem diferentes dos contribuintes para a diminuição da força muscular.⁴¹ Há provas de que a diminuição da força muscular é um fator de risco para a disfunção e incapacidade físicas.^{12,39,43,44} Como exemplo temos os achados obtidos no *Health Aging and Body Composition Study*, em que os homens e mulheres com a força muscular abaixo do percentil 25, tinham aproximadamente o dobro do risco de desenvolver limitações na mobilidade durante o período de acompanhamento de dois anos e meio.³⁹

Como referido anteriormente, a perda de massa muscular e a perda de força muscular, são fatores preditivos de incapacidade física, contudo permanece a dúvida acerca de qual apresenta maior risco de provocar incapacidade funcional. Os estudos parecem apontar para a perda de força muscular como sendo o fator mais importante na incapacidade funcional.^{12,39,43,44} Visser et al^{39,43} demonstraram que a perda de massa muscular e a perda de força muscular são fatores de risco para as limitações na mobilidade nos idosos. Contudo, após ajustamento da massa muscular à força muscular, somente a perda de força muscular permaneceu um fator de risco independente de incidência de limitação na locomoção. Com isto é sugerido que a diminuição de força muscular medeia a relação entre a diminuição de massa muscular e a incidência de limitação da mobilidade.^{39,43} Utilizando o estudo coorte LASA, Visser et al, chegaram à mesma conclusão.⁴⁴

Existe uma associação entre estas alterações e o aumento da fraqueza, quedas, fraturas (relacionadas com as quedas), hospitalizações e perda de independência por parte dos afetados.¹

4.2. Alterações metabólicas, doenças crônicas e aumento da mortalidade

Para além das alterações do desempenho físico, a sarcopenia associa-se a várias alterações no organismo. A nível metabólico associa-se a uma diminuição moderada da taxa metabólica basal e do volume de oxigénio máximo (VO_2 max),⁴⁵⁻⁴⁷ o que pode levar a que haja mais gasto de energia para níveis mais baixos de trabalho.⁴⁸ No estudo de Waters et al os indivíduos com sarcopenia, durante o treino de resistência física, para além de realizarem menos trabalho utilizaram mais energia para o realizarem quando comparados com aqueles sem sarcopenia.⁴⁸ A combinação da diminuição da VO_2 max e da diminuição da força muscular é provavelmente a maior contribuição para a perda de função durante o envelhecimento.

Associado à sarcopenia existe também um aumento da prevalência de doenças crónicas, tais como, dislipidémia, hipertensão, insulinoresistência e diabetes mellitus II.⁴⁹ Um conjunto de relatórios apresentados no decurso do estudo *Aerobics Centre Longitudinal Study* demonstraram que a perda de força muscular nos idosos está associada a maior risco de síndrome metabólica⁵⁰, a maior risco de mortalidade devido a doença neoplásica⁵¹ e a maior risco de mortalidade independentemente da causa.⁵²

O músculo esquelético é uma reserva de proteína corporal extremamente importante para a produção de anticorpos e regeneração celular após uma lesão, principalmente nas alturas de maior stress ou malnutrição. Se a sarcopenia é grave tem o potencial de influenciar negativamente o sistema imunitário,⁵³ reduzindo a capacidade de responder a desafios à homeostasia, criando assim um ciclo vicioso de sarcopenia, fragilidade e incapacidade. Com este prejuízo do sistema imunitário é expetável que o risco de mortalidade destes indivíduos se encontre aumentado. Estudos realizados em idosos institucionalizados⁵⁴ e em idosos não institucionalizados⁵⁵ demonstraram que a medição da circunferência do braço é preditiva do risco de mortalidade a curto e longo-prazo. Apesar da consistência de observações feitas nos

estudos que utilizaram a medição da circunferência do braço como marcador de sarcopenia, outros estudos parecem não correlacionar a perda de massa muscular com o aumento do risco de mortalidade. Atualmente, ainda permanece discutível se a sarcopenia, definida com base em medições de massa muscular e dimensões musculares, é um fator preditivo de mortalidade. Newman et al, através de medições mais precisas de massa muscular obtidas com recurso à TC e à DEXA, sugerem que a perda de massa muscular é um fator insignificante na predição da mortalidade.⁵⁶ Contudo, resultados obtidos nesse mesmo estudo, demonstraram que a perda de força muscular aumentou cerca de 50% o risco de mortalidade, independentemente da perda de massa muscular.⁵⁶

5. Exercício físico e o idoso

Nos países desenvolvidos as ocupações dos tempos livres estão a tornar-se cada vez mais sedentárias, cada vez mais há a produção de dispositivos que poupam o dispêndio de energia para o seu manuseamento e as pessoas deixam de participar em programas de exercício físico organizado desde cedo, observando-se uma diminuição da atividade física com o envelhecimento. Anteriormente foi descrito que a inatividade física é um importante fator contribuinte da sarcopenia. Os estudos realizados em doentes imobilizados demonstraram que com a inatividade se observa uma diminuição tanto da massa muscular como da força muscular, sendo que primariamente se observa a diminuição da força e só depois a diminuição da massa muscular. Essa fraqueza muscular, por sua vez, leva a reduzidos níveis de atividade física,²⁹ criando-se assim um ciclo vicioso que propicia a sarcopenia (Figura 3). Esta diminuição da atividade física que se observa no indivíduo sarcopénico propicia o aumento da massa gorda corporal o que promove o aumento dos estímulos catabólicos relativamente aos estímulos anabólicos, levando a uma maior da perda massa muscular.²⁹

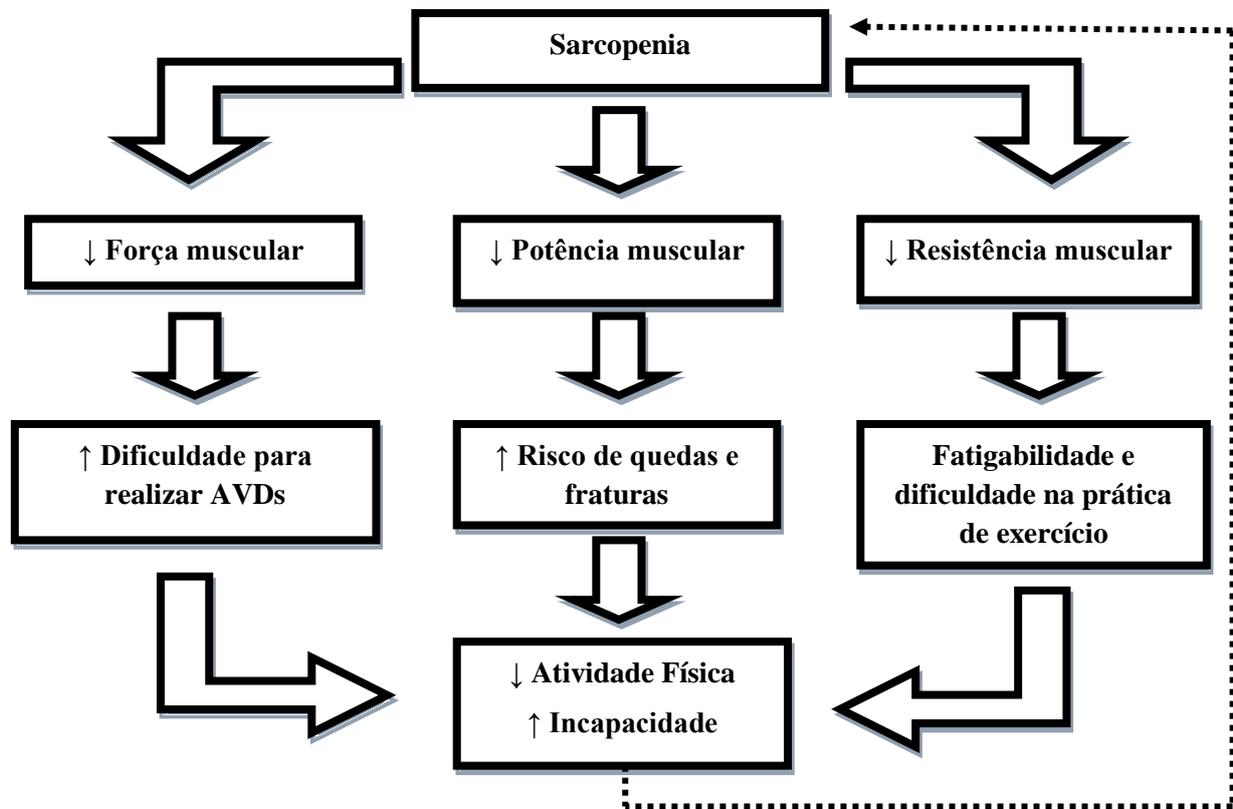


Figura 3. Modelo que explica as consequências funcionais das alterações relacionadas com a idade e a sarcopenia e o ciclo vicioso provocado pela redução de atividade física.

(Adaptado de Casas-Herrero A, Izquierdo M⁵⁷)

Num estudo realizado por Kortebein et al, os idosos saudáveis perderam em média 1,5 kg de massa magra e aproximadamente 15% da força de extensão do joelho, após 10 dias de imobilização, enquanto que nos idosos não imobilizados, a perda de massa magra numa década é de aproximadamente 2 kg nos homens e 1 kg nas mulheres, após os 60 anos.⁵⁷ A imobilização induz resistência anabólica, disfunção mitocondrial e apoptose⁵⁷. Alguns investigadores defendem que a diminuição da função mitocondrial com o envelhecimento pode ser atenuada pela atividade física. Outros defendem que a disfunção mitocondrial é só parcialmente revertida após a atividade física, não atingindo os níveis de melhoria que são atingidos nos jovens.²⁹

Embora se possa pensar que os atletas de topo, que mantenham atividade física de alto nível até idades mais avançadas, permaneçam protegidos da senescência do músculo esquelético, nestes observa-se também uma diminuição da força e potência muscular com a idade. Contudo, observa-se uma diminuição mais lenta da força de extensão isométrica do joelho (na qual o comprimento da fibra muscular se mantém constante na presença de uma força superior àquela que o músculo pode produzir) e da área de fibras de tipo II do vastus lateralis.⁵⁸ Mesmo os indivíduos muito ativos perdem massa muscular e força muscular com o passar do tempo.

A interrupção do ciclo vicioso atrás descrito (figura 3) é fundamental para a manutenção da funcionalidade dos idosos. Para tal o exercício físico é proposto como uma das, ou a melhor forma de evitar ou reduzir esse fenómeno. Ele promove o anabolismo proteico do músculo esquelético, levando a alterações metabólicas e morfológicas do músculo. Contudo estas alterações demoram semanas a meses para que se tornem aparentes, devido, em parte, ao lento *turnover* das proteínas musculares.⁵⁹ Reveste-se de especial importância a adição de exercício físico no quotidiano dos idosos, para tentar reverter o ciclo vicioso que se observa. Apesar de tudo indicar o efeito protetor do exercício físico na sarcopenia, esse efeito depende do tipo de exercício que se pratica, da frequência e da sua intensidade. Neste artigo será referido o efeito do treino anaeróbio contra resistência (ou treino de força) e do treino aeróbio nos idosos sarcopénicos.

5.1. Treino aeróbio (“*Endurance training*”)

O treino aeróbio, que inclui atividades como andar, correr, ciclismo, esqui ou nadar (exercício físico prolongado, com contrações musculares prolongadas de baixa intensidade), estimula o metabolismo oxidativo, associando-se a uma elevada densidade mitocondrial (pode reverter a disfunção mitocondrial), promovendo assim um aumento da produção de ATP

(adenosina trifosfato) através da via da carnitina,⁶⁰ um aumento da capacidade oxidativa muscular e um aumento da resistência muscular.⁶¹ Este treino aumenta a VO₂ max, melhora a qualidade muscular (força muscular e massa muscular), melhora a adaptação neuromuscular, a função muscular e está associado com uma diminuição da morbidade e mortalidade independentemente da massa gorda corporal.²⁹ Apesar de não promover tanto a hipertrofia muscular quando comparado ao treino anaeróbio, ele estimula também a síntese proteica, a ativação de células satélite e aumenta a área de fibras musculares. Para além disso o exercício aeróbio reduz a massa gorda corporal, inclusivamente a gordura intramuscular.²⁹ A nível cardiovascular este tipo de exercício está associado ao aumento da fração de ejeção cardíaca, redução da frequência cardíaca e a redução da pressão arterial em repouso.⁶² Como indicado anteriormente, os idosos obesos apresentam um estado de inflamação crónica que acelera o processo de perda de massa muscular e por isso será de esperar que o exercício aeróbio desempenhe um importante papel na prevenção e tratamento da sarcopenia. Este treino adquire especial interesse visto que é muito mais apelativo para os idosos do que o treino anaeróbio contra resistência.²⁹ Contudo o exercício aeróbio isolado, na maioria dos estudos, não se demonstrou eficaz na prevenção da perda de força e massa muscular.⁶² Raguso et al⁶³ propuseram-se a analisar o efeito do exercício físico aeróbio, realizado em tempos de lazer, na massa muscular e na acumulação de gordura, através de um estudo longitudinal com 3 anos de *follow-up*. No estudo incluíram 74 elementos do sexo masculino e 66 elementos do sexo feminino, todos eles com idades superiores a 65 anos. O tempo médio de exercício aeróbio moderado a intenso praticado pelos participantes foi de 90 minutos por dia, sendo que 70% dos participantes declararam realizar mais de 60 minutos de exercício diário. Apesar da regular atividade física após 3 anos de *follow-up*, esta não demonstrou ser suficiente para manter a massa muscular, nem para reduzir a massa gorda corporal.⁶³ Mitchell et al, através de um estudo transversal, chegaram à mesma conclusão ao não conseguirem associar o

exercício físico aeróbio com a manutenção ou o aumento da massa muscular.⁶⁴ Alguns estudos chegaram a conclusões contrárias, sendo um exemplo o estudo realizado por Harber et al, que concluíram que o exercício aeróbio promove a hipertrofia muscular e melhora a função muscular ao promover a remodelação das propriedades contrácteis das miofibrilhas musculares.⁶⁵ Estes resultados contraditórios devem-se aos diferentes desenhos de projetos de cada estudo, diferentes tipos de exercício aeróbio praticado, à diferente intensidade e questões relacionadas com o viés no fornecimento da informação por parte dos participantes.⁶⁶

Apesar do exercício físico aeróbio não parecer ser suficiente para impedir o fenómeno da sarcopenia, ele parece reverter algumas das principais consequências funcionais da sarcopenia, tal como foi mencionado acima, onde a melhoria da função cardiovascular obtém especial valor. Para além desses efeitos, também ajuda no alívio da dor, melhora o equilíbrio, que é fundamental no idoso fragilizado, e aumenta o apetite, combatendo a *anorexia do envelhecimento*.²⁹ Por tudo isto, é aconselhável ao idoso manter um estilo de vida saudável, com exercício físico aeróbio regular, de moderada intensidade (por exemplo, corrida ou ciclismo a uma intensidade de 45% a 59% VO₂ max).⁶⁷ O melhor regime de exercício aeróbio para os indivíduos sarcopénicos ainda não foi definido, contudo o treino aeróbio intervalado (AIT, do inglês *Aerobic interval training* – sessões semanais de exercício aeróbio com repetições de quatro minutos a 45% a 59% VO₂ max, intercaladas com repetições de um minuto a intensidade sub-máxima) que está indicado nos idosos sedentários pode começar a ser considerado nos sarcopénicos.⁶⁷ Mais estudos necessitam de ser feitos com o intuito de definir o melhor regime de exercício aeróbio nos indivíduos com sarcopenia.

5.2. Treino anaeróbio contra resistência (“Resistance Training”)

Este treino diz respeito ao exercício dinâmico ou estático contra uma resistência externa.⁶⁸ Temos como exemplo de exercício anaeróbio contra resistência, o levantamento de

pesos, o trabalho em aparelhos de resistência nos ginásios, o exercício com elásticos de alongamento, entre outros. Os estudos mais recentes parecem indicar que este tipo de exercício é o mais eficaz no combate à sarcopenia.⁶⁶

Este treino, ao contrário do treino aeróbio, está associado ao metabolismo glicolítico e a uma baixa densidade mitocondrial. Tal como o treino aeróbio, ele apresenta melhorias ao nível do condicionamento aeróbio (VO_2 max) mas em menores dimensões do que no exercício aeróbio.⁶⁹ Estudos realizados indicam que o treino contra resistência contínuo contribui para o controlo da inflamação local, através de adaptações aos aumentos agudos e repetidos do mRNA (ácido ribonucleico mensageiro) pró-inflamatório no músculo esquelético.⁶⁷ Ele está associado com alterações ao nível da arquitetura muscular tanto nos jovens, como nos idosos e nos indivíduos fragilizados. Com ele regista-se um aumento do comprimento das fibras musculares nos idosos⁷⁰ e nos indivíduos fragilizados,⁷¹ o que poderá aumentar a velocidade de encurtamento das fibras musculares. Verdijk et al, demonstraram que o exercício anaeróbio contra resistência prolongado no idoso leva a um aumento de 28% do tamanho das fibras musculares de tipo II e, concomitantemente, a um aumento de 76% das células satélite das fibras musculares de tipo II.⁵⁹ Uma simples sessão deste treino estimula rapidamente (entre duas a quatro horas) a síntese proteica muscular e aumenta as taxas de síntese proteica que persistem elevadas até 16 horas em indivíduos com treino habitual e até 48 horas naqueles sem treino habitual. A degradação proteica muscular também é estimulada após o exercício, contudo em menor grau do que o aumento da síntese proteica o que leva a um aumento da proteína muscular total.⁵⁹ Para além do aumento da síntese proteica, o treino anaeróbio também está associado com o aumento da massa muscular e força muscular, sempre e quando a intensidade e duração do período de treino forem suficientes.⁵⁷ O aumento da força muscular resulta, nas primeiras semanas de treino, principalmente da adaptação neuronal, ou seja, através de um aumento da ativação da musculatura agonista ou através de

alterações nos padrões de ativação da musculatura antagonista. No entanto, por volta da sexta ou sétima semanas de treino, a hipertrofia muscular é um feito evidente, apesar das alterações ao nível proteico e nos tipos de fibras ocorrerem muito antes. Apesar de nos idosos o aumento de força se dever principalmente às melhorias dos padrões de ativação neuronal, foi demonstrado que a hipertrofia muscular que se observa também contribui para o aumento de força muscular.⁵⁷ Estudos demonstraram que, após 2 meses deste treino, consegue-se reverter a perda de massa e força muscular relacionada com o envelhecimento que ocorre em duas décadas.⁷² Com o aumento da força muscular e com o aumento da velocidade de encurtamento das fibras musculares verifica-se também um aumento da potência muscular (mas só nos programas de elevada velocidade como será discutido adiante).^{73,74} Quanto à função muscular, o treino anaeróbio contra resistência também se associa com um melhor desempenho funcional e melhoria nas AVD.⁷⁵ Um estudo demonstrou que os ganhos induzidos pelo treino contra resistência se mantêm preservados durante períodos de descontinuação de exercício.⁷⁶ Este tipo de treino também resulta em melhorias ao nível de diferentes condições clínicas comuns nos idosos, tais como, a osteoporose, osteoartrite, doença cardíaca, diabetes e depressão.⁷⁷ Todas as alterações que se observam no treino anaeróbio são diferentes de pessoa para pessoa e são determinadas pelo seu treino prévio, situação funcional e co-morbilidades associadas.⁷⁸

Apesar de estar demonstrado que este tipo de treino seja eficaz no combate da sarcopenia, é importante definir qual o tipo, a intensidade e duração de exercício mais eficaz e adequado na sarcopenia. A *American College of Sport Medicine* e a *American Heart Association* sugeriram que o treino anaeróbio contra resistência em dois ou mais dias não consecutivos, a uma intensidade de 70% a 90% de 1 RM (Repetição Máxima – quantidade máxima de peso levantada uma vez durante a realização de um exercício padronizado de

levantamento de peso), durante 20 a 30 minutos, é apropriado para o aumento de massa e força muscular, mesmo em idosos fragilizados.⁶⁷

Após vários estudos realizados, tudo parece indicar existirem diferenças no incremento da força muscular, relacionados com as diferentes intensidades de exercício. O treino contra resistência progressivo (PRT, do inglês *Progressive Resistance Training*) de elevada intensidade (60-80% da força máxima) tem-se demonstrado mais eficaz quando comparado com os programas de baixa a moderada intensidade.⁷⁹ Apesar disto, alguns estudos indicam que os PRT convencionais não têm efeito significativo nas medidas relacionadas com as AVD e só têm um ligeiro a moderado efeito na habilidade funcional, apesar dos grandes incrementos de força observados,⁸⁰ devido ao facto da maior parte destes PRT convencionais implicar contrações musculares de baixa velocidade (dois a quatro segundos para a fase concêntrica, de encurtamento muscular) a elevada intensidade (60-80% da força máxima) e muitas das AVD requererem contrações dinâmicas rápidas e coordenadas entre 50 a 200 milissegundos, o que é consideravelmente inferior ao tempo necessário para atingir uma contração na força máxima (aproximadamente 400 a 600 milissegundos).⁸¹ Com isto é expetável que programas que tenham como objetivo gerar força rapidamente, através de contrações musculares rápidas (potência muscular), mais indicadas para as AVD, sejam mais relevantes na manutenção e melhoria do desempenho físico dos idosos.

Vários estudos têm sido realizados com o intuito de investigar o papel de um PRT de potência (com velocidades de contração elevadas). Este tipo de treino é composto por uma fase concêntrica rápida (encurtamento muscular), seguida por uma fase excêntrica lenta (estiramento muscular), alternadamente, com cargas moderadas a elevadas. Vários estudos indicam que os PRT de potência são mais eficazes do que os PRT convencionais no que diz respeito à melhoria da função muscular (velocidade de marcha, subida de escadas, tempo a se levantar da cadeira) nos idosos, apesar de ganhos semelhantes de força muscular.^{74,79} Numa

meta-análise, realizada por Tschopp et al,⁸² chegou-se à conclusão de que poderão haver benefícios funcionais nos treinos de alta velocidade, contudo os resultados não foram clinicamente relevantes, ao contrário dos resultados da maioria dos outros estudos indicados anteriormente. Neste mesmo estudo, não foi possível chegar a uma conclusão sólida acerca da segurança do treino de potência nos idosos, parecendo exequível naqueles idosos com boa capacidade física.⁸² Apesar do PRT convencional, parecer ser menos eficaz que o treino de potência, os movimentos lentos aí realizados são descritos como produtores de estímulos de elevada intensidade com menor risco de lesão,⁸³ contudo, como já foi descrito anteriormente, a velocidade de contração é muito importante para a manutenção da performance funcional e neste aspeto o treino de potência é mais eficaz do que o PRT convencional.

Como parte dos movimentos utilizados nos treinos contra resistência, a contração muscular excêntrica (durante o estiramento muscular), parece ter uma importância acrescida na regulação da função muscular nos idosos. No envelhecimento, a força muscular excêntrica é melhor preservada do que a força muscular concêntrica, sendo que a magnitude da sua preservação, nos diferentes estudos, varia entre 2% a 48%, com valor médio de 21,6%. A inatividade física apresenta-se como um potencial fator regulador desta preservação da força excêntrica.⁶⁷ Como nos programas de exercício físico com contração excêntrica se associa um dispêndio reduzido de energia com uma produção elevada de força e considerando esta preservação da força muscular excêntrica no idoso, esta intervenção pode ser útil nos idosos que são incapazes de atingir elevadas forças musculares com o PRT convencional.⁶⁷

Tudo parece indicar que os programas mais eficazes para o aumento da potência muscular e para reduzir ou impedir a progressão da incapacidade funcional do idoso com o decorrer do tempo são o treino de potência muscular e o treino contra resistência com contração muscular excêntrica. Contudo o melhor método ainda não está definido, sendo

necessário mais estudos que abordem não só a questão da eficácia dos diferentes treinos, mas também a questão da segurança nos idosos, incluindo aqueles com co-morbilidades e frágeis.

5.3. Tratamento conjunto: exercício aeróbio e exercício anaeróbio contra resistência

Seria de esperar que houvesse um efeito aditivo na combinação de exercício aeróbio com exercício anaeróbio (A+An) no tratamento da sarcopenia. Este tipo de treino tem despertado especial atenção por parte dos investigadores. Vários estudos demonstraram que a combinação dos dois tipos de exercícios parece inibir o desenvolvimento muscular, quando comparados com o treino anaeróbio contra resistência isolado. Na maioria destes estudos, o aumento da força máxima do membro inferior foi superior no grupo que realizava exclusivamente o treino anaeróbio de força em comparação com o grupo que realizava um programa combinado de exercício aeróbio e anaeróbio de força. Os vários estudos relataram que quando se conjuga os dois tipos de exercício, a adaptação muscular, comparada com a adaptação que ocorre nos treinos isolados aeróbio ou anaeróbio, fica comprometida. Este efeito foi designado de efeito de treinos concorrentes ou efeito de interferência.⁸⁴ Os mecanismos que podem explicar a inibição do aumento da força muscular nos treinos que incluem os dois tipos de exercício, quando em comparação com o treino contra resistência anaeróbio isolado, não são completamente compreendidos. Isto deve-se em parte à marcada diferença na conceção dos estudos, no que diz respeito ao modo, frequência, duração e intensidade de treino, entre outras variáveis.⁸⁴ Ao nível molecular, parece haver uma explicação para a interferência que ocorre no desenvolvimento da força muscular: diferentes formas de exercício induzem mecanismos de sinalização intracelulares antagonistas que, por sua vez, podem ter um impacto negativo na resposta adaptativa muscular.⁸⁵ Outros estudos, realizados em idosos fragilizados, que combinam o exercício aeróbio com o exercício anaeróbio contra resistência, demonstraram melhorias nos parâmetros funcionais, tais como a

velocidade de marcha e o SPPB.⁵⁷ Um estudo realizado por Izquierdo et al⁸⁶, em idosos do sexo masculino (65-74 anos) analisou o efeito do treino (duas vezes por semana durante 16 semanas) combinado de exercício aeróbio e anaeróbio de força (uma sessão/semana de treino anaeróbio de força + uma sessão/semana de treino aeróbio), do treino aeróbio isolado (A) e do treino anaeróbio de força isolado (An) sobre a força máxima dos músculos extensores do membro superior e do membro inferior, a área de secção transversal do quadríceps femoral e o trabalho máximo (Wmax, do inglês *maximal Workload*) alcançado durante um teste progressivo até ao esgotamento no cicloergómetro. Neste estudo não houve diferenças significativas entre a hipertrofia muscular induzida por An (11%) e por A+An (11%), nem entre os ganhos de força máxima dos membros inferiores no An (41%) e A+An (38%). Quanto ao Wmax, não houve diferença significativa entre o A (28%) e A+An (23%). Quanto à força máxima do membro superior, houve um aumento mais significativo no An (36%), comparado com o A+An (22%) e o A (0%).⁸⁶ Estes resultados, apesar de serem relativamente mais otimistas do que os obtidos na maioria dos outros estudos, continuam a indicar que não existe um benefício adicional na combinação do exercício aeróbio com o exercício anaeróbio de força.

Logo, apesar de se prever anteriormente que a combinação dos dois tipos de exercício fosse mais eficaz no tratamento da sarcopenia, tal não se observa com os vários estudos realizados.

CONCLUSÃO

Apesar de ainda não existir uma definição internacional consensual de sarcopenia, observa-se um aumento da prevalência da mesma com a idade, o que acarreta graves prejuízos para a saúde dos idosos, condicionando a qualidade de vida dos mesmos. O exercício físico tem sido avançado como uma das formas mais eficazes de combater a sarcopenia, conseguindo revertê-la parcialmente. Atualmente está demonstrado que o exercício físico anaeróbio contra resistência é o tipo de exercício mais eficaz no aumento da massa, força e potência muscular, o que leva a uma melhoria do desempenho funcional. Dentro deste tipo de exercício, o treino de potência a alta velocidade e os exercícios de contração muscular excêntrica são os mais eficazes no tratamento da sarcopenia, contudo são necessários mais estudos sobre a sua eficácia e segurança e que definam qual o programa mais adequado em termos de intensidade e frequência, para os idosos sarcopênicos. O exercício físico aeróbio, apesar de não ser suficiente para reverter ou atrasar de forma significativa a sarcopenia, é eficaz na melhoria de algumas das suas principais consequências funcionais, incluindo a função cardiovascular. Também está relacionado com efeito analgésico, melhoria do equilíbrio e aumento do apetite, sendo por isso uma forma de exercício importante no idoso. O treino combinado de exercício aeróbio e anaeróbio não é superior ao treino anaeróbio contra resistência isolado no que diz respeito ao tratamento da sarcopenia, não se observando um benefício adicional no aumento da massa e força muscular. Este fenómeno é designado de efeito de interferência.

Apesar de já existirem provas de que o exercício anaeróbio é mais eficaz no tratamento da sarcopenia, quando em comparação com o exercício aeróbio, são necessários mais estudos para se definir um programa de exercício físico eficaz e seguro no idoso sarcopênico e que se consiga implementar no seu quotidiano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Manuel Teixeira Veríssimo pela dedicação, motivação, interesse, apoio e disponibilidade manifestados na orientação deste trabalho.

Ao Dr. Helder Esperto, deixo o meu profundo agradecimento pela disponibilidade demonstrada, pelo constante incentivo, apoio e saber transmitido.

Aos meus pais e irmão, a quem devo tudo, um muito obrigado por todo o apoio e amor fornecido durante não só a realização deste trabalho, como também durante todo o meu percurso académico e vida.

Um especial agradecimento à minha avó Evangelina, que no decorrer da realização deste trabalho faleceu, pela excelente avó, “mãe” e amiga que foi. A ela dedico este trabalho!

À minha madrinha e família, por todo o carinho e apoio que me deram.

Aos meus amigos e companheiros de longa data, especialmente ao Amadeu, Noel, Jó, Vouga, Andrade, Sandra, Li e Margarida Novo, deixo um sincero e muito sentido agradecimento por tudo o que a amizade deles representa para mim.

Por fim e não menos importante, agradeço à minha querida namorada Maria. Um muito obrigado pelo amor, compreensão, paciência e ajuda diários. Sem ela tudo seria mais difícil.

A todos eles, um muito obrigado!

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rosenberg IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr.* 1997 May;127 (5 Suppl): 990S–991S.
2. Abellan van Kan G. Epidemiology and consequences of sarcopenia. *J Nutr Health Aging.* 2009 Oct;13(8):708-12.
3. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing.* 2010 Jul;39(4):412-23. doi: 10.1093/ageing/afq034. Epub 2010 Apr 13.
4. World Health Organization. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems-10th Revision [documento da Internet]. Geneva: World Health Organization; 2010 [acedido a 22 de Junho de 2012]. Disponível em: <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2010/en>.
5. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, Ross RR, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol.* 1998 Apr 15;147(8):755–63.
6. Gallagher D, Visser M, De Meersman RE, Sepúlveda D, Baumgartner RN, Pierson RN, et al. Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol.* 1997 Jul;83:229-39.
7. Iannuzzi-Sucich M, Prestwood KM, Kenny AM. Prevalence of sarcopenia and predictors of skeletal muscle mass in healthy, older men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2002 Dec; 57(12): M772-7.
8. Rolland Y, Lauwers-Cances V, Cournot M, Nourhashémi F, Reynish W, Rivière D, et al. Sarcopenia, calf circumference, and physical function of elderly women: a cross-sectional study. *J Am Geriatr Soc.* 2003 Aug; 51(8): 1120-4.

9. Woo J, Leung J, Sham A, Kwok T. Defining sarcopenia in terms of risk of physical limitations: a 5-year *follow-up* study of 3,153 chinese men and women. *J Am Geriatr Soc*. 2009 Dec;57(12):2224–31. doi: 10.1111/j.1532-5415.2009.02566.x. Epub 2009 Nov 17.
10. Kim TN, Yang SJ, Yoo HJ, Lim KI, Kang HJ, Song W, et al. Prevalence of sarcopenia and sarcopenic obesity in Korean adults: the Korean sarcopenic obesity study. *Int J Obes (Lond)*. 2009 Aug;33(8):885–92. doi: 10.1038/ijo.2009.130. Epub 2009 Jun 30.
11. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc*. 2002 May; 50(5): 889-96.
12. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di Iorio A, et al. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol*. 2003 Nov;95(5):1851–60.
13. Visser M, Deeg DJ, Lips P, Longitudinal Aging Study Amsterdam. Low vitamin D and high parathyroid hormone levels as determinants of loss of muscle strength and muscle mass (sarcopenia): The Longitudinal Aging Study Amsterdam. *J Clin Endocrinol Metab*. 2003 Dec;88(12):5766-72.
14. Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, Glynn RJ, Berkman LF, Blazer DG, et al. A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol* 1994 Mar;49(2):M85–94.
15. Working Group on Functional Outcome Measures for Clinical Trials. Functional outcomes for clinical trials in frail older persons: time to be moving. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2008 Feb;63(2):160–4
16. Doherty TJ. Invited review: Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol*. 2003 Oct;95(4):1717-27.

17. Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *J Appl Physiol*. 2000 Jul;89(1):81-8.
18. Gallagher D, Visser M, De Meersman RE, Sepulveda D, Baumgartner RN, Pierson RN, et al. Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol*. 1997 Jul;83(1):229-39.
19. Walrand S, Guillet C, Salles J, Cano N, Boirie Y. Physiopathological mechanism of sarcopenia. *Clin Geriatr Med*. 2011 Aug;27(3):365-85. doi: 10.1016/j.cger.2011.03.005.
20. Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, Fleg JL, Fozard JL, Tobin J, et al. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20–93 yr. *J Appl Physiol*. 1997 Nov;83 (5): 1581-7.
21. Bassey EJ, Fiatarone MA, O'Neill EF, Kelly M, Evans WJ, Lipsitz LA. Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clin Sci (Lond.)* 1992 Mar;82 (3), 321-7.
22. Foldvari M, Clark M, Laviolette LC, Bernstein MA, Kaliton D, Castaneda C, et al. Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000 Apr;55(4):M192-9.
23. Baumgartner RN, Waters DL, Gallagher D, Morley JE, Garry PJ. Predictors of skeletal muscle mass in elderly men and women. *Mech Ageing Dev*. 1999 Mar;107(2):123-36.
24. Perry HM 3rd, Miller DK, Patrick P, Morley JE. Testosterone and leptin in older African-American men: relationship to age, strength, function, and season. *Metabolism*. 2000 Aug; 49(8): 1085–91.
25. Roubenoff R, Hughes VA. Sarcopenia: current concepts. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000 Dec;55(12): M716–24.

26. Daynes RA, Araneo BA, Ershler WB, Maloney C, Li GZ, Ryu SY. Altered regulation of IL-6 production with normal aging. Possible linkage to the age-associated decline in dehydroepiandrosterone and its sulfated derivative. *J Immunol.* 1993 Jun;150(12), 5219-30.
27. Tracy RP. Emerging relationships of inflammation, cardiovascular disease and chronic diseases of aging. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2003 Dec;27 Suppl 3: S29-34.
28. Janssen I, Ross R. Linking age-related changes in skeletal muscle mass and composition with metabolism and disease. *J Nutr Health Aging.* 2005 Nov-Dec;9(6):408-19.
29. Rolland Y, Pillard F. Validated treatments and therapeutic perspectives regarding physical activities. *J Nutr Health Aging.* 2009 Oct;13(8):742-5.
30. Schaap LA, Pluijm SM, Deeg DJ, Visser M. Inflammatory markers and loss of muscle mass (sarcopenia) and strength. *Am J Med.* 2006 Jun;119(6):526.e9-17.
31. Ferrucci L, Penninx BW, Volpato S, Harris TB, Bandeen-Roche K, Balfour J, et al. Change in muscle strength explains accelerated decline of physical function in older women with high interleukin-6 serum levels. *J Am Geriatr Soc.* 2002 Dec;50 (12):1947-54.
32. Ferrucci L, Harris TB, Guralnik JM, Tracy RP, Corti MC, Cohen HJ, et al. Serum IL-6 level and the development of disability in older persons. *J Am Geriatr Soc.* 1999 Jun;47(6):639-46.
33. Morley JE. Anorexia, sarcopenia, and aging. *Nutrition.* 2001 Jul-Aug; 17 (7-8):660–3.
34. Morley JE. Anorexia, body composition, and ageing. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2001 Jan;4(1):9–13.
35. Evans WJ. Effects of exercise on senescent muscle. *Clin Orthop Relat Res.* 2002 Oct;(403 Suppl):S211–20.
36. Porter MM, Vandervoort AA, Lexell J. Aging of human muscle: structure, function and adaptability. *Scand J Med Sci Sports.* 1995 Jun;5(3):129–42.

37. Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick E, Goodpaster B, Nevitt M, et al. Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function. *J Am Geriatr Soc.* 2003 Nov;51(11):1602–9.
38. Janssen I. Influence of sarcopenia on the development of physical disability: the Cardiovascular Health Study. *J Am Geriatr Soc.* 2006 Jan;54(1):56–62.
39. Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Newman AB, Nevitt M, Rubin SM, et al. Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005 Mar;60(3):324–33.
40. Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol.* 1991 Aug; 71(2):644–50.
41. Clark BC, Manini TM. Sarcopenia \neq dynapenia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2008;63(8):829–34.
42. Hughes VA, Frontera WR, Wood M, Evans WJ, Dallal GE, Roubenoff R, et al. Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2001 May;56(5):B209–17.
43. Visser M, Newman AB, Nevitt MC, Kritchevsky SB, Stamm EB, Goodpaster BH, et al. Reexamining the sarcopenia hypothesis. Muscle mass versus muscle strength. *Ann N Y Acad Sci.* 2000 May; 904:456-461.
44. Visser M, Deeg DJ, Lips P, Harris TB, Bouter LM. Skeletal muscle mass and muscle strength in relation to lower-extremity performance in older men and women. *J Am Geriatr Soc.* 2000 Apr;48(4):381-6.
45. Lammes E, Akner G. Resting metabolic rate in elderly nursing home patients with multiple diagnoses. *J Nutr Health Aging.* 2006 Jul-Aug;10(4):263–70.

46. van Pelt RE, Dinneno FA, Seals DR, Jones PP. Age-related decline in RMR in physically active men: relation to exercise volume and energy intake. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2001 Sep;281(3): E633–9.
47. Hawkins SA, Marcell TJ, Victoria Jaque S, Wiswell RA. A longitudinal assessment of change in VO₂max and maximal heart rate in master athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Oct;33(10):1744–50.
48. Waters DL, Mullins PG, Qualls CR, Raj DS, Gasparovic C, Baumgartner RN. Mitochondrial function in physically active elders with sarcopenia. *Mech Ageing Dev.* 2009 May;130(5):315–9. doi: 10.1016/j.mad.2009.01.006. Epub 2009 Feb 6.
49. Karakelides H, Nair KS. Sarcopenia of aging and its metabolic impact. *Curr Top Dev Biol.* 2005;68:123–48.
50. Jurca R, Lamonte MJ, Barlow CE, Kampert JB, Church TS, Blair SN. Association of muscular strength with incidence of metabolic syndrome in men. *Med Sci Sports Exerc.* 2005 Nov;37(11):1849–55.
51. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, Lee DC, Morrow JR Jr, Jackson AW, et al. Muscular strength and adiposity as predictors of adulthood cancer mortality in men. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2009 May;18(5):1468–76. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-08-1075. Epub 2009 Apr 14.
52. FitzGerald SJ, Barlow CE, Kampert JB, Morrow JR Jr, Jackson AW, Blair ST. Muscular fitness and all-cause mortality: prospective observations. *J Phys Act Health* 2004;1(1):7–18.
53. Cosqueric G, Sebag A, Ducolombier C, Thomas C, Piette F, Weill-Engerer S. Sarcopenia is predictive of nosocomial infection in care of the elderly. *Br J Nutr.* 2006 Nov;96(5):895–901.

54. Mühlethaler R, Stuck AE, Minder CE, Frey Bm. The prognostic significance of protein-energy malnutrition in geriatric patients. *Age Ageing*. 1995 May;24(3):193–7.
55. Miller MD, Crotty M, Giles LC, Bannerman E, Whitehead C, Cobiac L, et al. Corrected arm muscle area: an independent predictor of long-term mortality in community-dwelling older adults? *J Am Geriatr Soc*. 2002 Jul;50(7):1272–7.
56. Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick EM, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, et al. Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2006 Jan;61(1):72–7.
57. Casas-Herrero A, Izquierdo M. Physical exercise as an efficient intervention in frail elderly persons. *An Sist Sanit Navar*. 2012 Jan-Apr;35(1):69-85.
58. Bautmans I, Van Puyvelde K, Mets T. Sarcopenia and functional decline: pathophysiology, prevention and therapy. *Acta Clin Belg*. 2009 Jul-Aug;64(4):303-16.
59. Koopman R. Dietary protein and exercise training in ageing. *Proc Nutr Soc*. 2011 Feb;70(1):104-13. doi: 10.1017/S0029665110003927. Epub 2010 Nov 22.
60. Lanza IR, Short DK, Short KR, Raghavakaimal S, Basu R, Joyner MJ, et al. Endurance exercise as a countermeasure for aging. *Diabetes*. 2008 Nov;57(11):2933–42. doi: 10.2337/db08-0349. Epub 2008 Aug 20.
61. Wilkinson SB, Phillips SM, Atherton PJ, Patel R, Yarasheski KE, Tarnopolsky MA, et al. Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *J Physiol*. 2008 Aug 1;586(Pt 15), 3701–17. doi: 10.1113/jphysiol.2008.153916. Epub 2008 Jun 12.
62. Visvanathan R, Chapman I. Preventing sarcopaenia in older people. *Maturitas*. 2010 Aug;66(4):383-8. doi: 10.1016/j.maturitas.2010.03.020. Epub 2010 Apr 21.

63. Raguso CA, Kyle U, Kossovsky MP, Roynette C, Paoloni-Giacobino A, Hans D, et al. A 3-year longitudinal study on body composition changes in the elderly: role of physical exercise. *Clin Nutr*. 2006 Aug;25(4):573–80. Epub 2005 Dec 5.
64. Mitchell D, Haan MN, Steinberg FM, Visser M. Body composition in the elderly: the influence of nutritional factors and physical activity. *J Nutr Health Aging*. 2003;7(3):130–9.
65. Harber MP, Konopka AR, Douglass MD, Minchev K, Kaminsky LA, Trappe TA, et al. Aerobic exercise training improves whole muscle and single myofiber size and function in older women. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2009 Nov;297(5):R1452-9. doi: 10.1152/ajpregu.00354.2009. Epub 2009 Aug 19.
66. Waters DL, Baumgartner RN, Garry PJ, Vellas B. Advantages of dietary, exercise-related, and therapeutic interventions to prevent and treat sarcopenia in adult patients: an update. *Clin Interv Aging*. 2010 Sep 7;5:259-70.
67. Pillard F, Laoudj-Chenivesse D, Carnac G, Mercier J, Rami J, Rivière D, et al. Physical activity and sarcopenia. *Clin Geriatr Med*. 2011 Aug;27(3):449-70. doi: 10.1016/j.cger.2011.03.009. Epub 2011 May 14.
68. Phillips SM. Resistance exercise: good for more than just grandma and grandpa's muscles. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2007 Dec;32(6):1198–205.
69. Vincent KR, Braith RW, Feldman RA, Kallas HE, Lowenthal DT. Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Arch Intern Med*. 2002 Mar 25;162(6):673–8.
70. Reeves ND, Narici MV, Maganaris CN. In vivo human muscle structure and function: adaptations to resistance training in old age. *Exp Physiol*. 2004 Nov;89(6):675-89. Epub 2004 Aug 24.
71. Suetta C, Andersen JL, Dalgas U, Berget J, Koskinen S, Aagaard P, et al. Resistance training induces qualitative changes in muscle morphology, muscle architecture, and muscle

- function in elderly postoperative patients. *J Appl Physiol*. 2008 Jul;105(1):180-6. doi: 10.1152/jappphysiol.01354.2007. Epub 2008 Apr 17.
72. Hurley BF, Roth SM. Strength training in the elderly: effects on risk factors for age-related diseases. *Sports Med*. 2000 Oct;30(4):249-68.
73. de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinou TM, Orr R, Fiatarone Singh MA. Effect of power-training intensity on the contribution of force and velocity to peak power in older adults. *J Aging Phys Act*. 2008 Oct;16(4):393-407.
74. Fielding RA, LeBrasseur NK, Cuoco A, Bean J, Mizer K, Fiatarone Singh MA. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc*. 2002 Apr;50(4):655-62.
75. Capodaglio P, Capodaglio Edda M, Facioli M, Saibene F. Long-term strength training for community-dwelling people over 75: impact on muscle function, functional ability and life style. *Eur J Appl Physiol*. 2007 Jul;100(5):535-42. Epub 2006 Apr 25.
76. Henwood TR, Taaffe DR. Detraining and retraining in older adults following long-term muscle power or muscle strength specific training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2008 Jul;63:751-8.
77. Lang T, Streeper T, Cawthon P, Baldwin K, Taaffe DR, Harris TB. Sarcopenia: etiology, clinical consequences, intervention, and assessment. *Osteoporos Int*. 2010 Apr;21(4):543-59. doi: 10.1007/s00198-009-1059-y. Epub 2009 Sep 25.
78. Pedersen BK, Saltin B. Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. *Scand J Med Sci Sports*. 2006 Feb;16 Suppl 1: 3-63.
79. Steib S, Schoene D, Pfeifer K. Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2010 May;42(5):902-14. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181c34465.

80. Latham NK, Bennett DA, Stretton CM, Anderson CS. Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2004 Jan;59(1):48-61.
81. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*. 2002 Oct; 93(4):1318-26.
82. Tschopp M, Sattelmayer MK, Hilfiker R. Is power training or conventional resistance training better for function in elderly persons? A meta-analysis. *Age Ageing*. 2011 Sep;40(5): 549–56. doi: 10.1093/ageing/afr005. Epub 2011 Mar 7.
83. Winett RA, Carpinelli RN. Potential health-related benefits of resistance training. *Prev Med*. 2001 Nov;33(5):503-13.
84. Leveritt M, Abernethy PJ, Barry BK, Logan PA. Concurrent strength and endurance training: a review. *Sports Med*. 1999 Dec;28(6):413-27.
85. Nader GA. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 Nov;38(11):1965-70.
86. Izquierdo M, Ibañez J, Hakkinen K, Kraemer WJ, Larrión JL, Gorostiaga EM. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc*. 2004 Mar;36(3):435-43.