

Categoria: Artigo de revisão

ISSN: 0103-1716

Título Português: CÉLULAS SATÉLITES E ATIVIDADE FÍSICA: RELAÇÃO DOS CONHECIMENTOS BÁSICOS COM A PRÁTICA PROFISSIONAL

Titulo Inglês: SATELLITE CELLS AND PHYSICAL ACTIVITY: RELATION OF THE BASIC KNOWLEDGES WITH THE PROFESSIONAL PRACTICE

Autore(s):

André Katayama Yamada

Afiliação: Universidade Metodista de Piracicaba

Carlos Roberto Bueno Júnior

Afiliação: Universidade de São Paulo

Endereço para Correspondência: yamadaak@gmail.com

Data Recebimento: 15-12-2008

Data Aceite: 04-07-2009

CÉLULAS SATÉLITES E ATIVIDADE FÍSICA: UM EXEMPLO DE TRANSFERÊNCIA DOS CONHECIMENTOS BÁSICOS PARA A PRÁTICA PROFISSIONAL

SATELLITE CELLS AND PHYSICAL ACTIVITY: AN EXAMPLE OF TRANSLATION OF THE BASIC KNOWLEDGES TO THE PROFESSIONAL PRACTICE

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo revisar as funções das células satélites em relação à atividade física, além de buscar exemplificar como estabelecer uma “ponte” entre os conhecimentos básicos relacionados ao assunto com a prática profissional. Serão discutidas a participação das células satélites nos mecanismos de hipertrofia e regeneração musculares e como uma série de estímulos - como o exercício físico (tanto agudamente como cronicamente), a senilidade e a suplementação nutricional - modificam o papel dessas células no organismo. Por fim, serão enumerados vários aspectos importantes na atuação profissional que têm alguma relação com essas células. Esses propósitos foram atingidos buscando artigos científicos com os termos *satellite cells* e *physical exercise* no *Pubmed*. Apesar da grande dificuldade em transpor os conhecimentos básicos para a prática profissional, esse desafio não deve ser abandonado, pois esse é o caminho que deve ser trilhado pela formação e pela atuação profissional - ele é fundamental para a substituição de conhecimentos baseados em mitos e no senso comum para conhecimentos científicos, o que terá como consequência uma melhor atuação dos profissionais da área da Educação Física e do Esporte. **Palavras-chave:** células satélites, exercício físico, atuação profissional, suplementação, senilidade.

ABSTRACT

This study has as purpose to explain the functions of satellite cells related to physical activity. Furthermore, it intends to give an example of a “bridge” between the basic knowledges and that related to professional practice. It will be discussed the participation of the satellite cells in the mechanisms of muscular hypertrophy and regeneration and as many stimulus - like physical exercise (both acutely and chronically), the old age and the nutritional supplementation - change the roles of these cells in the organism. Finally, it will be cited many important aspects in the professional practice that have some relationship with the satellite cells. These purposes were reached looking for scientific articles with the terms satellite cells and physical exercise in the Pubmed. It is very difficult to transport the basic knowledges to the professional practice, but this challenge can not be abandoned. This is the way that has to be run by professional formation and practice - it is important to changing knowledges based in mites and common sense to scientific knowledges, what it will result in a better professional practice in the Physical Education and Sport area. **Keywords:** satellite cells, physical exercise, professional practice, supplementation, old age.

INTRODUÇÃO

A musculatura esquelética é um dos tecidos com maior plasticidade do organismo, sendo capaz de se ajustar às diversas demandas impostas. Uma série de variáveis - como certas doenças e alterações no nível de atividade física e na alimentação - podem gerar, de acordo com a especificidade do estímulo empregado, uma série de adaptações nesse tecido, como hipertrofia, atrofia, transição no tipo de fibra muscular, morte celular e regeneração^{7, 12, 16, 28, 55}.

Em relação à atividade física, os estímulos à musculatura esquelética podem ser provenientes basicamente de treinamento físico aeróbio ou de força. Com relação ao primeiro, não há muito conhecimento na literatura científica sobre sua modulação na regeneração e no reparo muscular. Já em relação ao treinamento de força, é relativamente bem documentada sua capacidade de gerar hipertrofia nesse tecido em decorrência de microlesões nas fibras musculares após as sessões de exercícios e posterior regeneração tissular^{24, 66}.

Algumas células são importantes para a regulação trófica da musculatura esquelética, como as células tronco situadas entre a lâmina basal e o sarcolema das miofibrilas, as denominadas células satélites³⁹. Essas células são importantes e estão relacionadas à recuperação e à plasticidade muscular. Elas permanecem em estado quiescente até que um estímulo as ative, fazendo-as proliferar, diferenciar, fundir e maturar, reparando as fibras musculares ou formando novas células contráteis⁶⁷. No entanto, sabe-se que além do exercício físico, as células satélites podem ser ativadas por vários outros fatores, como drogas, suplementos nutricionais e hormônios (fatores de crescimento)^{20, 36, 41}.

Nesse contexto, é função do profissional da atividade física, partindo das necessidades, características e expectativas de seu cliente, aplicar o nível

ótimo de estímulo para gerar o maior nível de adaptação no menor intervalo de tempo possível¹⁷. No entanto, uma linha tênue separa esse nível ótimo de um quadro de excesso de sobrecarga, que não favorece as adaptações esperadas e pode gerar lesões e/ou *overtraining*, prejudicando o processo de treinamento físico. Portanto, o profissional deve ser dotado de uma série de conhecimentos para, em última instância, manipular de forma eficiente a frequência semanal de treinamento, o número de série e repetições, o intervalo entre as séries e a carga de trabalho, além de escolher os exercícios e a ordem no qual eles são executados^{11, 34}.

Apesar da importância desses conhecimentos para a prática profissional, muitos deles ainda não estão consolidados na literatura científica e um grande desafio da área da atividade física continua sendo a transferência dos conhecimentos básicos para o exercício da profissão. Isso ocorre devido principalmente às características da formação profissional, que se caracteriza por apresentar uma série conhecimentos em disciplinas isoladas, sem oferecer aos alunos ferramentas para integrá-los⁴.

Visto a importância das células satélites na musculatura esquelética e as variáveis que os profissionais podem manipular, algumas questões podem ser lançadas: Como a suplementação ou a utilização de substâncias poderiam acionar as células satélites para promover melhorias no rendimento do atleta ou na qualidade de vida de um idoso? Qual o período ideal de recuperação de um atleta para que a musculatura esteja apta a ser utilizada novamente, pensando no envolvimento das células satélites? Quais as características necessárias de um exercício para diferentes indivíduos para que não haja o *overtraining*? Indivíduos de diferentes faixas etárias, condicionamento físico e gênero possuem a mesma quantidade de células satélites?

Nesse sentido, o objetivo da presente revisão de literatura é descrever as funções das células satélites na musculatura esquelética e como elas são moduladas em diversas situações, relacionando esses conhecimentos com a prática profissional, tanto no contexto do alto rendimento como da saúde.

O tema “células satélites” não foi escolhido por apresentar maior relação com a prática profissional do que outros temas da área da atividade física. Ele constitui apenas um exemplo para reflexão da importância e de como transpor os conhecimentos básicos para a atuação profissional.

Esperamos que a leitura desse trabalho também estimule a reflexão dos profissionais da área e dos gestores da formação profissional no sentido de construirmos cada vez mais uma “ponte” sólida e consistente entre os conhecimentos básicos e o exercício profissional.

MATERIAL E MÉTODOS

Este é um estudo descritivo de revisão sistemática da literatura científica que aborda como transpor os conhecimentos básicos de um tema relacionado à atividade física (“células satélites”) para a prática profissional. A pesquisa foi realizada em periódicos indexados no banco de dados *Pubmed*. Os critérios de inclusão foram: conter as palavras *satellite cells* e *physical exercise*; ter sido publicado a partir de 1965; estar escrito em inglês, espanhol ou português. Foram incluídos tanto revisões de literatura como artigos com dados originais e o ano de 1965 foi escolhido porque nesse ano foi publicado um importante estudo sobre a estrutura das células satélites na musculatura esquelética que foi base para uma série de outras publicações.

De posse dos artigos selecionados, procedeu-se à leitura integral dos mesmos para obtenção das informações julgadas mais importantes, que foram subdivididas nos tópicos apresentados a seguir.

CÉLULAS SATÉLITES, HIPERTROFIA E REGENERAÇÃO

As células satélites são células precursoras miogênicas indiferenciadas que possuem a habilidade de gerar novas fibras musculares ou gerar novos mionúcleos para células contráteis durante o crescimento pós-natal. Além disso, possuem a capacidade de gerar células filhas, que se tornam novas células satélites. É importante salientar que as células satélites podem se ativar e se proliferar - gerando novas fibras musculares e/ou adicionando novos mionúcleos para as já existentes - ou retornar para o estado quiescente^{32, 66, 68}.

Também é conhecido que após o exercício físico, uma pequena proporção das células satélites volta ao seu estado quiescente para recompor o estoque de células satélites^{55, 58} e que a ativação das células satélites não é restrita apenas ao dano de uma região da fibra muscular, mas sim irá promover ativação ao longo de toda a fibra, levando à proliferação e à migração das células satélites⁵⁷.

Em alguns estudos são observadas diferenças nas proporções das células satélites dependendo do tipo das fibras musculares. Foi demonstrada uma maior porcentagem de células satélites em fibras musculares de contração lenta em comparação com fibras de contração rápida, no entanto os mecanismos subjacentes a essa regulação ainda não foram elucidados¹⁸.

Tanto as lesões decorrentes do treinamento físico como de doenças ativam as células satélites. No entanto, há uma diferença fundamental entre esses dois processos. No dano muscular decorrente de uma doença ocorre necrose de parte das fibras musculares, estimulando uma resposta inflamatória para a formação de novos sarcolemas. Mesmo não ocorrendo lesão na membrana das células musculares após treinamento de força, por exemplo,

observa-se a ativação e a replicação das células satélites, tendo as microlesões das miofibrilas como estímulo²⁰.

O dano muscular inicial do treinamento de força dispara a liberação de vários fatores de crescimento que influenciam na ação das células satélites, estimulando a regeneração e conseqüentemente a hipertrofia². As lesões musculares são acompanhadas de uma série de eventos inflamatórios, e nesse momento algumas células como os macrófagos fagocitam e removem as células lesadas, com a finalidade de manter a estrutura da musculatura⁵². Algumas citocinas, como o fator inibidor de leucemia (*LIF*), a interleucina-6 (*IL-6*), o fator de crescimento de fibroblastos (*FGF*), o fator de crescimento vascular endotelial (*VEGF*), o fator de crescimento de hepatócitos (*HGF*) e a interleucina-15 (*IL-15*) podem influenciar no reparo muscular⁶⁹. O *HGF*, por exemplo, mostrou ter efeitos diretos na proliferação e na diferenciação de células satélites em cultura⁵. Já a *IL-6* estimula a proliferação e a fusão das células satélites, regulando a inflamação por meio da apoptose (morte celular programada)⁶.

Os fatores de crescimento também apresentam efeitos diretos nas células satélites. O fator de crescimento semelhante à insulina (*IGF-1*), que tem sua expressão aumentada pelo treinamento de força, estimula a proliferação, a diferenciação e a fusão das células satélites nos miotúbulos em crescimento¹⁹. O fator de crescimento mecânico (*MGF*) é uma isoforma do *IGF-1* descoberta na musculatura esquelética e tem sua expressão aumentada após uma sobrecarga muscular, precedendo a ativação das células satélites, enquanto que o *IGF-1* sistêmico tem sua expressão aumentada mais lentamente²⁵. Já a insulina, por favorecer a captação de glicose na musculatura esquelética, é essencial ao funcionamento desse tecido. Além disso, esse hormônio parece ser responsável pela proliferação e diferenciação das células satélites por meio

dos receptores de *IGF-1*³⁷. Por fim, é digno de nota que a miostatina, uma proteína que inibe o crescimento muscular, também inibe a diferenciação e a proliferação das células satélites³⁸.

Atualmente o foco de inúmeras pesquisas com células satélites é entender que vias de sinalização intracelular são responsáveis pela ativação e proliferação dessas células. Nesse sentido, as vias de sinalização das β -cateninas⁴⁷ e das *Wnts*⁴² merecem destaque.

De forma resumida, o treinamento de força causa danos à musculatura que, devido a um processo inflamatório, estimula a liberação de fatores de crescimento que regulam a ativação e a proliferação das células satélites durante a regeneração muscular²³.

CÉLULAS SATÉLITES E EFEITOS AGUDOS DO EXERCÍCIO FÍSICO

Em relação às células satélites, é conhecido que o exercício físico aeróbio promove maior modulação do sistema imune sistemicamente, enquanto o exercício de força estimula as células satélites a trabalharem localmente⁴⁰.

Foi demonstrado em um importante estudo que uma única sessão de exercício pode induzir as células satélites a reiniciarem o ciclo de crescimento celular, no entanto uma sessão de exercício não é suficiente para promover a diferenciação terminal dessas células. Além disso, havia uma hipótese de que a ativação das células satélites após uma sessão de exercício seria devido ao dano nas proteínas miofibrilares e à necrose da miofibrila na dor muscular de início tardio, no entanto em um estudo não foi verificado dano no sarcolema⁹.

Uma única sessão de exercício parece não ser suficiente para promover a diferenciação porque as células satélites voltam ao seu estado quiescente. No entanto, foi demonstrado que em humanos o estoque de células satélites

pode aumentar quatro dias após uma única sessão de treinamento e é mantido em um nível mais alto com o treinamento por longas semanas. Por outro lado, se o treinamento é interrompido, há uma redução gradual desse estoque⁹.

No entanto, a potencialidade de uma sessão de atividade física ser capaz de ativar as células satélites ainda é um assunto controverso na literatura, pois foi demonstrado que um dia de exercícios de contração excêntrica é capaz de ativá-las por meio de um mecanismo que envolve a resposta local e sistêmica do *HGF* gerada pela lesão oriunda da contração muscular⁴⁴.

Uma forma alternativa ao exercício físico para ativar a musculatura esquelética é a estimulação elétrica. Quando Cramer et al. compararam a eficiência das duas intervenções em ativar as células satélites, foi observado que o exercício voluntário, particularmente o excêntrico, é mais eficiente por gerar uma resposta inflamatória diferente da estimulação elétrica, que tende à necrose tecidual⁸.

CÉLULAS SATÉLITES E EFEITOS CRÔNICOS DO EXERCÍCIO FÍSICO

Aumentos significativos no diâmetro das fibras musculares e no número de mionúcleos e de células satélites são efeitos conhecidos do treinamento físico de força. Em um estudo foi demonstrado, por exemplo, que o conteúdo de células satélites era 70% maior no trapézio de levantadores de peso quando comparados com indivíduos controle²⁹.

Em relação à função dessas células durante o processo de treinamento físico, alguns pesquisadores acreditam que as células satélites são necessárias para a hipertrofia muscular quando o indivíduo encontra-se na fase adulta por manter o número de mionúcleos constante⁴³ ou até mesmo para ativar os processos relacionados à transição entre os tipos de fibras musculares³⁵.

Apesar da importância das células satélites na regulação do trofismo da musculatura esquelética, em um processo de atrofia o número de mionúcleos pode se manter constante. Nessa situação, portanto, uma alteração no balanço entre a síntese e a degradação protéica é capaz de reverter esse quadro²¹.

Os esteróides anabolizantes, por sua vez, parecem não alterar os estoques de células satélites. Kadi et al.³⁰ (1999), por exemplo, verificaram que o número de células satélites em levantadores de peso que utilizavam anabolizantes era semelhante aos levantadores que não os utilizavam.

Com o destreinamento a musculatura esquelética sofre os efeitos contrários ao do treinamento em relação às células satélites. Em um estudo, Kadi et al.³¹ (2004) investigaram a modulação do conteúdo das células satélites durante 30 e 90 dias de treinamento (4 séries de 6 a 12 repetições máximas, 3 vezes por semana) e 3, 10, 30, 60 e 90 dias de destreinamento, mediante a realização de biópsia do músculo vasto lateral de 15 homens. Durante os dias 3, 10 e 60 de destreinamento, o número de células satélites continuou elevado, porém não no dia 90. Portanto, as células satélites possuem uma alta plasticidade em decorrência do treinamento e do destreinamento.

Verney et al.⁶⁵ (2008), por sua vez, avaliaram os efeitos de um treinamento concorrente (treinamento aeróbio nos membros inferiores e treinamento de força nos membros superiores) por 14 semanas em dez indivíduos idosos. O treinamento aeróbico foi realizado em bicicleta ergométrica entre 75% e 85% da frequência cardíaca máxima (3 séries de 12 minutos cada) e o de força foi composto por três exercícios com três séries cada (iniciou com 20 repetições máximas, que foram reduzidas para 12 ao longo do treinamento). O estoque de células satélites aumentou similarmente nos dois músculos (vasto lateral e deltóide) principalmente nas fibras do tipo II.

Portanto, o treinamento concorrente mostrou-se eficiente em aumentar o estoque de células satélites em sujeitos idosos.

Por fim, citaremos o estudo de Roth et al.⁵³, que investigaram a proporção e a morfologia das células satélites musculares em sujeitos dos dois sexos, jovens e idosos. Esses sujeitos foram submetidos a um treinamento físico por 9 semanas, 3 dias por semana, de extensão unilateral de joelho. Todos os grupos demonstraram aumentos na proporção de células satélites em resposta ao treinamento. Os mecanismos moleculares subjacentes a esse achado ainda não foram objetos do estudo.

CÉLULAS SATÉLITES E SENILIDADE

Com o avançar da idade, a musculatura esquelética perde força e volume, tendendo à atrofia muscular, geralmente denominada de sarcopenia. Alguns fatores podem acelerar a sarcopenia, como a diminuída capacidade de proliferação e do número das células satélites, principalmente nas fibras do tipo II, que também vão reduzindo ao longo dos anos^{64,10}.

As alterações observadas com a idade no recrutamento das células satélites contribuem para o déficit de regeneração muscular no idoso. Além disso, com o avançar da idade, a capacidade de proliferação das células satélites parece estar reduzida. No estudo de Dreyer et al.¹⁴ (2006), por exemplo, o número de células satélites foi avaliado em biópsias do músculo vasto lateral de indivíduos jovens e idosos que haviam sido submetidos ao exercício físico excêntrico de extensão dos joelhos. Os resultados mostraram aumentos nos dois grupos, no entanto foram maiores nos indivíduos jovens em comparação aos idosos.

Além disso, foi demonstrado que em jovens a habilidade de incorporação de novos mionúcleos derivados das células satélite é maior do

que em idosos. Isso pode ajudar a explicar a maior hipertrofia encontrada na população jovem⁴⁹.

Também é conhecido que o treinamento de força aumenta a massa muscular e força nos idosos, especialmente por reduzir a atrofia muscular das fibras do tipo II e aumentar o conteúdo de células satélites nesta mesma subpopulação de fibras musculares⁶³.

Por fim, é importante citar que foi demonstrado que a ativação das células satélites por meio do treinamento de força nessa população foi capaz até mesmo de reduzir o número de deleções no DNA mitocondrial. Essa adaptação do treinamento físico é relevante porque a diminuição na capacidade mitocondrial associada com a senilidade reflete na perda de massa muscular⁶⁰.

CÉLULAS SATÉLITES E SUPLEMENTAÇÃO

O uso de drogas sintéticas ou suplementos alimentares alteram o comportamento das células satélites. Como discutimos previamente, o exercício físico promove ativação dessas células. No entanto, na presença de drogas antiinflamatórias esse efeito é atenuado³⁶. Já foi demonstrado também que a ciclooxigenase-2 (COX2) é necessária para a atividade das células satélites e para a regeneração muscular. Nesse estudo, indivíduos submetidos a uma corrida de 36 km apresentaram aumento nas moléculas de adesão de células neurais (NCAM), diferentemente dos indivíduos que utilizaram antiinflamatórios não esteroidais, nos quais não foi observado aumento do número de células satélites identificadas por NCAM. Portanto, a ativação da via da COX, induzida pela síntese de prostaglandinas, é importante para a ativação das células satélites e o uso de anti-inflamatórios pode inibir essa via, prejudicando a atividade dessas células.

A testosterona pode ser benéfica para a musculatura esquelética dos idosos. Isso foi verificado no estudo de Grounds²⁰, no qual a droga teve um efeito dose-dependente no aumento da área de secção transversa muscular e no número das células satélites. Esse hormônio promove a entrada das células precursoras miogênicas no ciclo celular e aumenta a expressão de *Notch*, um importante regulador da replicação das células satélites.

Outro tipo de substrato bastante utilizado pelos praticantes de atividade física são aqueles à base de proteína. Hulmi et al.²⁷, por exemplo, verificaram o efeito da suplementação de proteína e do treinamento de força sobre a expressão de genes relacionados à miostatina. Os resultados mostraram que o treinamento de força diminuiu a expressão de miostatina e que a suplementação protéica foi capaz de atenuar essa resposta, ou seja, inibir essa diminuição. Os autores sugerem que a diminuição da miostatina após o treinamento de força é devido a um possível mecanismo protetor contra o desgaste muscular. Essa proteção parece não ser necessária quando é administrada a suplementação protéica, pois ocorre um aumento do controle do balanço protéico. Nesse estudo, tanto o treinamento de força como a suplementação protéica promoveram ativação e proliferação das células satélites, pois houve aumento na expressão de p21, cdk2 e miogenina, que são marcadores da estimulação dessas satélites.

Outro suplemento que influencia na regulação das células satélites é a creatina. A suplementação de creatina em combinação com o treinamento de força amplifica o número de células satélites e a concentração de mionúcleos em humanos, favorecendo a hipertrofia muscular. No estudo de Olsen et al.⁴¹ (2006), por exemplo, 32 indivíduos foram submetidos a um programa de treinamento de força por 16 semanas. No grupo que recebeu a suplementação de creatina (6 g; 4 vezes ao dia nos 7 primeiros dias e 1 vez ao dia nas 15

semanas restantes) em associação ao treinamento de força, o aumento no número de células satélites foi maior.

Além disso, a suplementação de creatina a curto prazo em jovens saudáveis ativa genes na musculatura esquelética que estão envolvidos na proliferação e na diferenciação das células satélites. Safdar et al.^{xx}, por exemplo, concluíram que a suplementação de creatina foi efetiva em aumentar a força muscular, a massa livre de gordura, o conteúdo total de água e a massa corporal total independentemente do treinamento físico ou da intervenção dietética⁵⁴.

Por fim, é importante citar que evidências científicas mostram que a síndrome metabólica pode reduzir a proliferação de células satélites, e isso pode contribuir para a reduzida massa muscular observada, por exemplo, nos ratos *Zucker* obesos. No entanto, a proliferação das células satélites foi restaurada com a sobrecarga compensatória, uma técnica utilizada em animais de experimentação que mimetiza o efeito do treinamento físico e consiste na retirada de um músculo esquelético, de modo a gerar um aumento na sobrecarga aos remanescentes⁴⁸.

CÉLULAS SATÉLITES NA PRÁTICA PROFISSIONAL

Até o momento, discutimos vários conceitos relacionados às funções das células satélites e como elas são moduladas em diferentes situações. Isso feito, o objetivo do presente tópico é fazer um exercício buscando extrair dos artigos científicos já citados e de outros trabalhos informações úteis ao exercício profissional. É importante ressaltar que o tema “células satélites” foi o exemplo escolhido para uma demonstração de como utilizar os conhecimentos básicos na manipulação das variáveis características da prática profissional, ou

seja, essa tarefa deve ser repetida pelo profissional em relação aos outros inúmeros temas da área.

Portanto, segue abaixo algumas considerações importantes à atuação do profissional na atividade física que apresentam relações com as células satélites:

- O treinamento de força realizado com oclusão venosa pode ser um método eficiente em mobilizar as células satélites devido ao processo de isquemia-reperfusão, que favorece o aparecimento de um quadro inflamatório necessário à regeneração e, conseqüentemente, à angiogênese e à miogênese do tecido - nesse fenômeno, no qual há participação das células satélites, há aumento nas concentrações de hormônio do crescimento e na expressão de *mTOR*^{56, 59};

- A velocidade com que o treinamento de força é executado é de fundamental importância para a resposta modulatória das células satélites. Verificou-se em um elegante estudo que o treinamento excêntrico realizada de forma rápida foi mais eficaz em promover hipertrofia e ganhos de força - os autores haviam avaliado os efeitos do exercício excêntrico e concêntrico em duas velocidades. Segundo os autores do estudo, a maior hipertrofia observada no grupo supracitado deve-se ao maior dano e, conseqüentemente, a uma maior infiltração das células satélites para realizar o reparo tissular¹⁵;

- Segundo Uchida et al.⁶², séries com 6 a 12 repetições cada, menos de 1 minuto e 15 segundos de intervalo entre as séries, cargas entre 67% e 85% de uma repetição máxima e 3 sessões semanais (visando valorizar a recuperação) são características importantes do treinamento para hipertrofia muscular. Além disso, os protocolos utilizados para maximizar a ação das células satélites necessitam ser ajustados progressivamente;

- Exercícios que privilegiam ações excêntricas são mais eficazes em causar hipertrofia muscular porque esse tipo de movimento pode causar maior dano muscular e inflamação - especula-se que nesse tipo de exercício, aumentos nas concentrações de *IGF-1* muscular podem gerar maior ativação das células satélites²². Os níveis mais exacerbados de lesões gerados pelas ações excêntricas necessitam de um reparo maior, que é mediado pela incorporação das células satélites³;

- No treinamento de força, a repetição de sucessivas sessões de exercício é essencial para uma boa adaptação do sistema muscular esquelético. Essas repetições fazem com que a ocorrência de danos na musculatura seja minimizada, pois a fibra muscular se torna mais resistente. Por esse motivo, toda vez que o músculo se adapta é necessário aumentar a carga do treinamento para estimular a ocorrência de microlesões e, conseqüentemente, alcançar aumentos na força muscular e/ou hipertrofia com a participação das células satélites nesses processos. Um estudo demonstrou, por exemplo, que a expressão de alguns genes inflamatórios estava aumentada após sessões repetidas de exercícios de força, com posteriores ganhos em força e massa muscular - os autores sugerem que a sinalização de citocinas entre macrófagos e células satélites teria um papel importante na adaptação muscular esquelética pelo treinamento de força²⁶;

- O treinamento concorrente consiste na combinação do treinamento aeróbio com o de força, porém parece afetar negativamente o desempenho de ambas as capacidades quando avaliadas isoladamente - isso pode ser evitado realizando o treinamento aeróbio e o de força em dias alternados. É importante salientar que indivíduos destreinados são mais beneficiados com o treinamento concorrente do que indivíduos ativos fisicamente⁴⁶;

- Além do treinamento físico, parâmetros nutricionais são determinantes para a hipertrofia muscular. A combinação de carboidratos e proteínas favorece a síntese protéica devido a uma maior oferta de carboidratos e aminoácidos para a musculatura esquelética, além dos níveis plasmáticos elevados de insulina¹. Em relação à suplementação de creatina associada ao treinamento de força, essa estratégia potencializa a ação das células satélites em comparação ao treinamento de força isolado¹. Em relação ao momento da suplementação nutricional, sabe-se que os aminoácidos são fundamentais durante a sessão de treinamento físico para evitar um dano muscular excessivo, e três horas após a sessão, quando maximizam a síntese protéica³³. Por fim, foi demonstrado que a suplementação de creatina associada ao consumo de aminoácidos e carboidratos leva a uma maior resposta hipertrófica na musculatura esquelética e a uma maior estimulação das células satélites³³;

- O treinamento aeróbico é capaz de aumentar os estoques de células satélites assim como o treinamento de força. Essas células também têm uma função importante no treinamento aeróbico, apesar de ainda não ser claro como elas aumentam nesse tipo de treinamento. Sugere-se que a lesão muscular ocasionada pelo exercício e a estimulação do sistema hormonal e imunológico possam ser algumas das causas desse incremento⁶⁵;

- Nos dias atuais é comum observar em academias o uso de esteróides anabolizantes. No entanto, como discutimos, o uso destas substâncias não impede o aumento no número de células satélites em decorrência do treinamento físico³⁰;

- O treinamento concorrente é um método eficiente que pode ser aplicado para idosos, por exemplo, e que estimula o aumento das células satélites⁶⁵;

- O treinamento de força e o treinamento aeróbio podem aumentar de forma similar o estoque de células satélites⁴⁰;

- Conforme já discutido, o treinamento físico aumenta as células satélites também em indivíduos idosos. Portanto, essa população é passível de receber este e outros benefícios de programas bem estruturados de atividade física^{14, 49, 60, 63};

- A utilização de antiinflamatórios em lesões deve ser evitada, pois o organismo já possui mecanismos que aceleram o processo antiinflamatório e essas drogas inibem a ação das células satélites e, conseqüentemente, a regeneração muscular³⁶;

- A suplementação com testosterona, proteínas e creatina promove efeitos positivos nas células satélites, podendo auxiliar no aumento da força e da hipertrofia muscular, sendo eficiente em idosos ou pessoas acometidas por doenças degenerativas neuromusculares. Nesse sentido, é importante a formação de equipes multidisciplinares, de modo a maximizar os resultados obtidos pelo aluno ou atleta^{20, 27, 41};

- A obesidade prejudica a proliferação das células satélites, o que tende a uma menor massa muscular esquelética⁴⁸.

Apesar do foco desse artigo estar relacionado às funções das células satélites e à modulação delas em diferentes situações, é evidente que o profissional não deve apenas considerar esse contexto na sua intervenção, mas todos os outros benefícios da atividade física, além das necessidades, características e expectativas dos alunos ou atletas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho o tema “células satélites” foi utilizado como um exemplo da relevância e de como fazer uma “ponte” entre os conhecimentos básicos e

aqueles utilizados na prática profissional. Apesar da grande dificuldade de transpor os conhecimentos básicos para a prática profissional, esse desafio nunca deve ser deixado de lado, pois esse é o caminho que deve ser trilhado pela formação e pela atuação profissional - ele é fundamental para a substituição de conhecimentos baseados em mitos e no senso comum para conhecimentos científicos, o que terá como consequência uma melhor atuação dos profissionais da área da Educação Física e do Esporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. wAagaard P. Making muscles “stronger”: exercise, nutrition, drugs. J Muskuloskel Neuron Interact. 2004; 4(2): 165-174.
2. Allen RE, Merkel, RA, Young RB. Cellular aspects of muscle growth: myogenic cell proliferation. J Anim Sci. 1979; 49: 115-127.
3. Barroso R, Tricoli V, Ugrinowitsch C. Adaptações neurais e morfológicas ao treinamento de força com ações excêntricas. R Bras Ci e Mov. 2005; 13(2): 111-112.
4. Betti M. Educação física como prática científica e prática pedagógica: reflexões à luz da filosofia da ciência. Rev Bras Educ Fís Esp. 2005; 19 (3): 183-197.
5. Bischoff R. Chemotaxis of skeletal muscle satellite cells. Dev Dyn 1997; 208: 508-515.
6. Cantini N, et al. Human satellite cells proliferation in vitro is regulated by autocrine secretion of IL-6 stimulated by soluble factor(s) released by activated monocytes. Biochem Biophys Res Comm. 1995; 16: 49-53.
7. Chargé SBP, Rudnicki MA. Cellular and molecular regulation of muscle regeneration. Physiol Rev. 2004; 84: 209-238.
8. Crameri RM, Aagaard P, Qvortrup K, Langberg H, Olesen J, Kjaer M. Myofibre damage in human skeletal muscle: effects of electrical stimulation *versus* voluntary contraction. J Physiol. 2007; 583(1): 365-380.

9. Cramer RM, et al. Changes in satellite cells in human skeletal muscle after a single bout of high intensity exercise. *J Physiol*. 2004; 558(1): 333-340.
10. Dennis RA, Przybyla B, Gurley C, Kortebein PM, Simpson P, Sullivan DH, Petterson CA. Aging alters gene expression of growth and remodeling factors in human skeletal muscle both at rest and in response to acute resistance exercise. *Physiol Gen*. 2008; 32: 393-400.
11. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiological adaptations to resistance training. *Am J Physic Med Rehabil*. 2002; 81:S3-S16.
12. Dirks A, Leeuwenburgh C. Apoptosis in skeletal muscle with aging. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol*. 2002; 282: 519-526.
13. Doumit ME, Merkel RA. Influence of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) and insulin on proliferation and differentiation of porcine satellite cells. *J Anim Sci*. 1991; 69: 316-324.
14. Dreyer HC, Blanco CE, Sattler FR, Schroder ET, Wiswell RA. Satellite cell numbers in young and older men 24 hours after eccentric exercise. *Muscle Nerve*. 2006; 33: 242-253.
15. Farthing JP, Chilibeck PD. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *Eur J Appl Physiol*. 2003; 89: 578-586.
16. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med* 2004; 34(10): 663-79.
17. Gibala MJ, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol*. 2006; 575: 901-911.
18. Gibson MC, Schultz E. The distribution of satellite cells and their relationship to specific fiber types in soleus and extensor digitorum longus muscles. *Anat Rec*. 1982; 202: 329-337.
19. Goldspink DF, et al. Muscle growth in response to mechanical stimuli. *Am J Physiol*. 1995; 268: E288-E297.
20. Grounds MD. Age-associated changes in the response of skeletal muscle cells to exercise and regeneration. *Ann N Y Acad Sci*. 1998; 854: 78-91.

21. Gundersen K, Bruusgard JC. Nuclear domains during muscle atrophy: nuclei lost or paradigm lost? 2008; 586(11): 2675-2681.
22. Hather BM, Tesch P, Buchanan P, Dudley GA. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand*. 1991; 143: 177-185.
23. Hawke TJ, Garry DJ. Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. *J Appl Physiol*. 2001; 91: 534-551.
24. Hawke TJ. Muscle stem cells and exercise training. *Exerc Sports Sci Review*. 2005;
25. Hill M, Wernig A, Goldspink G. Muscle satellite (stem) cells activation during local tissue injury and repair. *J Anat*. 2003; 203: 89-99.
26. Hubal MJ, Chen TC, Thompson PD, Clarkson PM. Inflammatory gene changes associated with the repeated-bout effect. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2008, 94:R1628-R1637.
27. Hulmi JJ, Kovanen V, Lisko I, Selanne H, Mero AA. The effects of whey protein on myostatin and cell cycle-related gene expression responses to a single heavy resistance exercise bout in trained older men. *Eur J Appl Physiol*. 2008; 102: 205-213.
28. Jackman RW, Kandarian SC. The molecular basis of skeletal muscle atrophy. *Am J Physiol Cell Physiol* 2004; 287: C834-C843.
29. Kadi F, Eriksson A, Holmner S, Butler-Brown GS, Thornell LE. Cellular adaptation of the trapezius muscle in strength-trained athletes. *Histochem. Cell Biol*. 1999; 111: 189-195.
30. Kadi F, Eriksson A, Holmner S, Thornell L-E. Effects of anabolic steroids on the muscle cells strength-trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1999; 31: 1528-1534.
31. Kadi F, Scherling P, Andersen LL, Charifi N, Madsen JL, Christensen LR. The effects of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. *J Physiol*. 2004; 558(3): 1005-1012.
32. Kadi F, et al. The behaviour of satellite cells in response to exercise: what have we learned from human studies? *Eur J Physiol*. 2005; 451: 319-327.

33. Kerksick C, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: nutrient timing. *J Intern Soc Sports Nut.* 2008; 54:82-91.
34. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals in resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36(4): 674-688.
35. Liu Y, Heinichen M, Wirth K, Schmidtbleicher D, Steinacker JM. Response of growth and myogenic factors in human skeletal muscle to strength training. *Br J Sports Med.* 2008; 42(12): 989-993.
36. Mackey AL, et al. The influence of anti-inflammatory medication on exercise-induced myogenic precursor cell responses in humans. *J Appl Physiol.* 2007; 103: 425-431.
37. Martel GF, Roth SM, Ivey FM, Lemmer JT, Tracy BL, Hurlbut DE. Age and sex affect human muscle fibre adaptations to heavy-resistance strength training. *Exp Physiol.* 2006; 91(2): 457-464.
38. McCroskery S, Thomas M, Maxwell L, Sharma M, Kambadur R. Myostatin negatively regulates satellite cell activation and self-renewal. *J Cell Biol.* 2003; 162(6): 1135-1147.
39. Muir AR, Kanji AH, Allbrook D. The structure of the satellite cells in skeletal muscle. *J Anat* 1965; 99: 435-444.
40. Nieman DC, et al. Effects of long-endurance running on immune system parameters and lymphocyte function in experienced marathoners. *Int J Sports Med.* 1989; 10(5): 317-323.
41. Olsen S, et al. Creatine supplementation augments the increase in satellite cell and myonuclei number in human skeletal muscle induced by strength training. *J Physiol.* 2006; 573: 525-534.
42. Otto A, Schmidt C, Luke G, Allen S, Valasek P, Muntoni S, Lawrence-Watt D, Patel K. Canonical Wnt signalling induces satellite cell proliferation during adult skeletal muscle regeneration. *J Cell Sci.* 2008; 26: 1865-1873.
43. O'Connor RS, Pavlath GK, McCarthy JJ, Esser KA. Last word on point:counterpoint: satellite cell addition is/is not obligatory for skeletal muscle hypertrophy. *J Appl Physiol.* 2007; 103(3): 1107-1114.

44. O'Reilly C, MacKay B, Phillips S, Tarnopolsky M, Parise G. Hepatocyte growth factor and the satellite cell response following muscle lengthening contractions in human. *Muscle Nerve*. 2008; 38(5): 1434-1442.
45. Parise G, McKinnel IW, Rudnicki MA. Muscle satellite cell and atypical myogenic progenitor response following exercise. *Muscle Nerve*. 2008; 37: 611-619.
46. Paulo AC, Souza EO, Laurentino G, Ugrinowitsch C, Tricoli V. Efeito do treinamento concorrente no desenvolvimento da força motora e da resistência aeróbia. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*. 2005; 4(4): 145-154.
47. Perez-Ruiz A, Ono Y, Gnocchi VF, Zammit PS. β -Catenin promotes self-renewal of skeletal-muscle satellite cells. *J Cell Sci*. 2008; 121: 1373-1382.
48. Peterson JM, Bryner RW, Alway SE. Satellite cell proliferation is reduced in muscles of obese Zucker rats but restored with loading. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2008; 295: C521-C528.
49. Petrella JK, Kim J, Cross JM, Kosek DJ, Bammam MM. Efficacy of myonuclear addition may explain differential myofiber growth among resistance-trained young and older men and women. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2006; 291: E937-E946.
50. Petrella JK, Kim J, Mayhew DL, Cross JM, Bammam MM. Potent myofiber hypertrophy during resistance training in humans is associated with satellite cell-mediated myonuclear addition: a cluster analysis. *J Appl Physiol*. *In press*.
51. Pisconti A, et al. Follistatin induction by nitric oxide through cyclic GMP: a tightly regulated signaling pathway that controls myoblast fusion. *J Cell Biol*. 2006; 172: 233-244.
52. Robertson TA, Maley ML, Grounds MD, Papadimitriou JM. The role of macrophages in skeletal muscle regeneration with particular reference to chemotaxis. *Exp Cell Res*. 1993; 207: 321-331.
53. Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer JT, Tracey BL, Metter EJ. Skeletal muscle satellite cell characteristics in young and older men and women after heavy resistance strength training. *J Geront*. 2001; 56(6): B240-B247.
54. Safdar A, Yardley NJ, Snow R, Melov S, Tarnopowsky MA. Global and targeted gene expression and protein content in skeletal muscle of young men

following short-term creatine monohydrate supplementation. *Physiol Genom.* 2008; 32: 219-228.

55. Sartorelli V, Fulco M. Molecular and cellular determinants of skeletal muscle atrophy and hypertrophy. *Sci Stke.* 2004; 95: 11-19.

56. Scholz D, Thomas S, Sass S, Podzuweit T. Angiogenesis and myogenesis as two facets of inflammatory post-ischemic tissue regeneration. *Molec Cel Biochem.* 2003; 246: 57-67.

57. Shultz E, Jaryszak DL, Valliere CR. Response of satellite cells to focal skeletal muscle injury. *Muscle Nerve.* 1985; 8: 217-222.

58. Shultz E. Satellite cell proliferative compartments in growing skeletal muscles. *Dev Biol.* 1996; 175: 84-94.

59. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular functions in humans. *J Appl Physiol.* 2000; 88: 2097-2106.

60. Tarnopowsky MA, Safdar A. The potential benefits of creatine and conjugated linoleic acid as adjuncts to resistance training in older adults. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008; 33: 213-227.

61. Thornell L-E, Lindstrom M, Renault V, Mouly V, Butler-Brown GS. Satellite cells and training in the elderly. *Scand J Med Sci Sports.* 2003; 13: 48-55.

62. Uchida MC, Navarro F, Pontes JFL. Objetivos dos praticantes de musculação. In: Uchida, Charro, Bacurau, Navarro, Pontes. *Manual de Musculação: uma abordagem teórico-prática.* São Paulo: Phorte; 2006. p. 55-74.

63. Verdijk LB, Gleeson BJ, Jonkers RAM, Meijer K, Savelberg HHCM, Dendale P, van Loon LJC. Skeletal muscle hypertrophy following resistance training is accompanied by a fiber type-specific increase in satellite cell content in elderly men. *J Gerontol: Biol Scienc.* 2009; 64(3): 332-339.

64. Verdijk LB, Koopman R, Schaart G, Meijer K, Savelberg HHCM, van Loon LJC. Satellite cell content is specifically reduced in type II skeletal muscle fibers in the elderly. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2007; 292: E151-E157.

65. Verney J, et al. Effects of combined lower body endurance and upper body resistance training on the satellite cell pool in elderly subjects. *Muscle Nerve.* 2008; 38: 1147-1154.

66. Vierck J, et al. Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biol Intern*. 2000; 24(5): 263-272.
67. Vitello L, Radu C, Segat D, Cantini M, Carraro U, Baroni MD. Enhancing myoblast proliferation by using myogenic factors: a promising approach for improving fiber regeneration in sport medicine and skeletal muscle diseases. *Bas Appl Myol*. 2004; 14(1): 45-51.
68. Wahl P, Brixius K, Bloch W. Exercise-induced stem cell activation and its implication for cardiovascular and skeletal muscle regeneration. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2008; 17(2): 91-99.
69. Yamada S, Buffinger N, Strohman R. Heparin binding growth factors and muscle hypertrophy. *J Cell Biol*. 1988; 107: 594-599.