



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

FACULDADE
DE
MEDICINA

MESTRADO EM MEDICINA DO DESPORTO

Luís Alexandre Oliveira Bettencourt

ERGOESPIROMETRIA, VIAS METABÓLICAS E EXERCÍCIO FÍSICO

TEMA DE REVISÃO

ÁREA CIENTÍFICA DE MEDICINA DO DESPORTO

Trabalho realizado sob orientação de:

PROFESSOR DOUTOR JOÃO PINHEIRO

PROFESSOR DOUTOR JOÃO BRANCO

OUTUBRO/2020

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

ERGOESPIROMETRIA, VIAS METABÓLICAS E EXERCÍCIO FÍSICO

Autores: Luís Bettencourt, MD^{1,2}; João Pinheiro, MD, PhD^{1,3}; João Branco, MD, PhD^{1,4}

¹Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

²luisbettencourt1@hotmail.com; Caminho do Pico do Funcho n.º 52, 9000-501, Funchal.

³reabmedica@hotmail.com; Praceta Professor Mota Pinto, 3000-075, Coimbra.

⁴joabrancofmuc@hotmail.com; Praceta Professor Mota Pinto, 3000-075, Coimbra.

Prefácio

“Atrás de cada linha de chegada, há uma partida.

Atrás de cada triunfo, há um desafio”

Madre Teresa de Calcutá

Resumo

Introdução: A Ergoespirometria ou Teste Cardiopulmonar é um teste não invasivo, que envolve uma avaliação integrada de vários sistemas. Durante várias décadas este tipo de teste foi utilizado com o intuito de ser um exame de *stress* ou de identificação de isquemia do miocárdio. Além disso, também avalia a capacidade cardiopulmonar de cada indivíduo. É uma ferramenta bastante útil que pode ser usada no controlo e prescrição de treino para atletas de alta competição ou recreativos.

Objetivos: Este estudo pretende demonstrar o interesse da técnica no contexto desportivo, enumerar as indicações e contraindicações para a elaboração do teste de ergoespirometria e saber aplicar os dados obtidos na monitorização dos atletas ao longo da época desportiva.

Métodos: Recolha de informação através da utilização da base de dados da PubMed. Foram usados os seguintes termos: (ergospirometry OR cardiopulmonary exercise test) AND lactate threshold AND athletes); (ergospirometry OR cardiopulmonary exercise test) AND sport demand AND Volume Máximo de Oxigénio (VO₂max.). Adicionalmente foram incluídos artigos de fontes de pesquisa como Sports Science, B-on e outras entidades de relevo como American College of Sports Medicine e American Heart Association.

Resultados: Para uma correta execução e avaliação do teste, deve existir um conjunto de protocolos que reúnam diretrizes que estejam em conformidade com a comunidade científica de forma a obter dados mais próximos aos valores reais. No que diz respeito ao estudo de variáveis que auxiliem o controlo e monitorização do treino, a ergoespirometria é um teste que possibilita a determinação do Limiar Anaeróbio e VO₂max. É importante entender a função de cada uma destas variáveis e como se relacionam com a intensidade do exercício.

Conclusão: A revisão dos artigos científicos apresentados fornece dados que permitem concluir que o VO₂max é uma das principais medidas usadas na avaliação da resistência aeróbia, mas nos últimos anos surgiram outros indicadores que têm sido adicionados com intuito de ter variáveis mais precisas para a avaliação da resistência aeróbia, como o Limiar Ventilatório e o Limiar de Lactato.

Palavras-chave: Ergoespirometria; Limiar Anaeróbio; Volume Máximo Oxigénio; Atleta.

Abstract

Background: Ergospirometry or Cardiopulmonary Testing is a non-invasive test, which involves an integrated assessment of several systems. For several decades, this type of test has been used in order to be a stress test to identify myocardial ischemia. Nowadays it is a very useful tool that can be used in the control and prescription of training for athletes.

Aim: This study demonstrates the interest of the technique in the sports context, enumerates the indications and contraindications for ergospirometry test and how to apply the data obtained in the monitoring of the athletes.

Methods: The main database was Pubmed. The following terms were used: (ergospirometry OR cardiopulmonary exercise test) AND lactate threshold AND athletes); (ergospirometry OR cardiopulmonary exercise test) AND sport demand AND VO₂max. Additionally, articles from research sources such as Sportsmedicine, B-on and other relevant entities such as American College of Sports Medicine and American Heart Association were included.

Results: For a correct execution and evaluation of the test, there are some guidelines that are in conformity with the scientific community in order to obtain data closer to the real values. With regard to the study of variables that help control and monitor training, ergospirometry is a test that allows to obtain the Anaerobic Threshold and VO₂max. It is important to understand the function of each of these variables and how they relate to the intensity of the exercise.

Conclusions: The revision of the presented scientific articles shows that the VO₂max is one of the main measures used in the evaluation of aerobic resistance, but in recent years other indicators have emerged that have been added in order to have more precise variables for the evaluation aerobic resistance, such as the Ventilatory Threshold and the Lactate Threshold.

Keywords: Ergospirometry; Anaerobic threshold; Maximum Oxygen Volume; Athlete.

Índice

Prefácio.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas.	viii
Lista de Acrónimos.....	ix
Introdução.....	1
Materiais e Métodos.....	2
1. Ergoespirometria.....	3
1.1 Principais variáveis medidas através da Ergoespirometria.....	4
1.2 Metodologia Aplicada no Teste de Ergoespirometria.....	5
1.3 Contra-Indicações Absolutas e Relativas.....	6
1.4 Equipamento Utilizado.....	6
1.5 Protocolos.....	8
1.6 Indicações para o interrupção do Teste.....	11
2. Caracterização das Vias Energéticas vs Modalidade Desportiva.....	12
2.1 Caracterização das Vias Energéticas do Futebol.....	14
3. Ergoespirometria – VO ₂ máx e Limiar Lactato no Controlo e Monitorização de Treino.....	18
3.1 Exercício Físico e Adaptações Fisiologicas.....	18
3.2 Limiar Anaeróbio e Exercício Físico.....	19
3.3 Limiar Ventilatorio.....	20
3.4 Limiar Ventilatório, VO ₂ e Performance.....	22
3.5 Avaliação do Volume de Oxigénio e a sua Aplicabilidade no Rendimento Desportivo.....	22
3.6 Teoria Tradicional e Contemporânea em relação à cinética do VO ₂	23
3.7 Intensidade do Exercício.....	24
3.8 Componente Lenta da Curva de Crescimento VO ₂	26
Conclusão.....	27
Agradecimentos.....	28
Bibliografia.....	29

Lista de Figuras

Figura 1: Diferentes Protocolos utilizados na avaliação cardiopulmonar. (7)

Figura 2: Abordagem das diferentes perspectivas: A Figura 2B apresenta o atraso adaptativo do metabolismo, que corresponde à componente Cardio-Dinâmica. Já a Figura 2A podemos constatar a ausência do registo desta fase. (14)

Lista de Tabelas

Tabela 1: Contra-indicações Absolutas e Relativas. (3)

Tabela 2: Diferenças entre as variáveis no teste em Bicicleta e em Passadeira Rolante. (3)

Tabela 3: Indicações absolutas e relativas para o término do teste. (3)

Tabela 4: A Tabela descreve o tempo médio (em percentagem dos 90 minutos de jogo) para cada tipo de movimento por posição no terreno de jogo (Defesa, Médio e Avançado). Os dados são médias (+/- SD). *significativamente diferente e outras posições. (12)

Lista de Acrónimos

FC - Frequência Cardíaca

LV - Limiar Ventilatório

METs - Equivalente Metabólico

PETCO₂ - Pressão parcial expiratória de Dióxido de Carbono

R - Coeficiente respiratório ou rácio de troca respiratória

VCO₂ - Volume Dióxido de Carbono

VE - Ventilação Pulmonar

VO₂ - Volume de Oxigénio

VO₂máx - Volume Máximo de Oxigénio

Introdução

A Ergoespirometria ou Teste Cardiopulmonar é um teste não invasivo, que envolve uma avaliação integrada de vários sistemas. (1, 2) Durante várias décadas este tipo de teste foi utilizado com o intuito de ser um exame de *stress* ou de identificação de isquemia do miocárdio. Esta ferramenta permite ainda obter dados quantitativos que ajudam os profissionais de saúde a definirem com maior exatidão o estado metabólico de cada indivíduo num dado momento. Entre os dados obtidos podemos destacar o consumo de oxigénio (VO_2), produção de dióxido de carbono (VCO_2), a ventilação pulmonar, entre outros. (2)

A ergoespirometria além de identificar e estratificar o risco de isquemia do miocárdio, também avalia a capacidade cardiopulmonar de cada indivíduo. É uma ferramenta bastante útil que pode ser usada no controlo e prescrição de treino para atletas de alta competição ou recreativos. Apenas em 1929 foi possível complementar o uso do espirómetro ao exercício físico. Apesar de ter sido revolucionário para a altura, o uso por rotina deste tipo de exame não tinha indicação clínica devido ao facto dos dados adquiridos não serem próximos aos reais. (1) Com o passar dos anos e evolução tecnológica foi possível a criação de aparelhos com maior qualidade que fornecem dados mais próximos aos valores esperados. Associado à melhoria dos equipamentos foi possível adicionar outro tipo de ferramentas que ajudaram a fornecer mais dados acerca do metabolismo de cada indivíduo, como o eletrocardiograma, medição da pressão arterial, lactato sanguíneo e frequência cardíaca.(1)

Atualmente, as tecnologias disponíveis no mercado ajudam os atletas a terem uma maior e melhor monitorização do treino e conseqüentemente uma melhoria nas suas qualidades físicas e táticas. O grande objetivo das equipas passa por obter os melhores resultados possíveis em cada época desportiva, pelo que as instituições ligadas ao desporto têm feito um enorme investimento com o intuito de conseguirem o maior número de dados tanto qualitativos como quantitativos.

Tendo em conta os diferentes contextos em que a Ergoespirometria pode ser aplicada, esta dissertação pretende ser uma abordagem dirigida à utilização deste teste, na avaliação da capacidade física e tolerância ao esforço por parte da comunidade desportiva, nomeadamente no futebol.

Os principais objetivos a desenvolver na dissertação são:

- Demonstrar o interesse da técnica no contexto desportivo;
- Enumerar as indicações e contraindicações para a elaboração do teste de ergoespirometria;
- Saber aplicar os dados obtidos na monitorização dos atletas ao longo da época desportiva.

Materiais e Métodos

Trata-se de uma revisão narrativa acerca da relação entre o uso da ergospirometria em contexto de exercício físico. Relativamente ao processo de recolha de informação válida e relevante, foi feita maioritariamente através da utilização da base de dados da PubMed. Foram usados os seguintes termos: (ergospirometry OR cardiopulmonary exercise test) AND lactate threshold AND athletes); (ergospirometry OR cardiopulmonary exercise test) AND sport demand AND VO2max. Tendo em conta à extensa literatura existente, foi feita uma seleção dos artigos através da leitura dos *abstracts* e a seleção final teve como critérios de inclusão publicações preferencialmente recentes em inglês e português, em que os participantes seriam apenas seres humanos, adultos saudáveis e testes ergoespirométricos aplicados em ortostatismo. De acordo com os critérios definidos, foi excluída literatura em que englobava estudo animal, crianças e testes ergométricos em posição de sentado.

Adicionalmente foram incluídos artigos de fontes de pesquisa como Sports Science, B-on e outras entidades de relevo como American College of Sports Medicine e American Heart Association que ajudaram o trabalho a ganhar mais força e robustez no que diz respeito à qualidade do conteúdo científico apresentado.

1. Ergoespirometria

A Ergoespirometria ou Teste Cardiopulmonar é um teste não invasivo, que envolve uma avaliação integrada de vários sistemas: cardíaco, pulmonar, hematológico, neurológico e músculo-esquelético. (1, 2)

Durante várias décadas este tipo de teste foi utilizado com o intuito de ser um exame de *stress* ou de identificação de isquemia do miocárdio, porém é necessário entender que cada teste efetuado deve ser adaptado à realidade de cada sujeito de modo a garantir uma metodologia que maximize a segurança e obtenção de informação diagnóstica/prognóstica fidedigna do teste. Atualmente existe um conjunto de indicações mais abrangentes para além daquelas que eram prescritas no passado. Segundo a American Heart Association, o teste cardiopulmonar é indicado para:

- Detecção de doença arterial coronária em pacientes com dor/desconforto no peito ou potenciais equivalentes.
- Avaliação anatômica e funcional da gravidade da doença arterial coronária.
- Previsão de possíveis eventos cardiovasculares anormais e causas de morte.
- Avaliação da capacidade física e tolerância ao esforço.
- Avaliação dos sintomas relacionados com o exercício físico.
- Avaliação cronotrópica, arritmias e resposta a terapêuticas com implantes cardíacos.
- Avaliação da resposta à introdução terapêutica de fármacos. (3)

Esta ferramenta permite ainda obter dados quantitativos que ajudam os profissionais de saúde e do exercício a definirem com maior exatidão o estado metabólico de cada indivíduo num dado momento. Entre os dados obtidos podemos destacar o consumo de oxigénio, produção de dióxido de carbono, a ventilação pulmonar, entre outros. (2)

1.1 Principais variáveis medidas através da Ergoespirometria

Consumo de oxigénio (VO_2)

É expresso em $L \cdot \text{min}^{-1}$ e define-se como o volume de oxigénio extraído do ar inalado através da ventilação pulmonar durante um período de tempo. Durante o exercício pode ser obtido o valor máximo de oxigénio através de dois processos: ao atingir um o maior plateau de VO_2 após um aumento da intensidade do exercício ou através da identificação do maior valor de VO_2 ($VO_{2\text{máx}}$) após a exposição a um teste de exercício extenuante. O valor de $VO_{2\text{máx}}$ ronda os 85%, caso este valor seja inferior poderemos estar perante uma situação patológica. Os valores obtidos dependem de um conjunto de fatores tais como: idade, sexo, peso, altura, nível de atividade física, genética e etnia. (4,5)

Ventilação pulmonar (VE)

Corresponde ao volume de ar inspirado e expirado dos pulmões a cada ciclo ventilatório. É expresso em L/min e corresponde ao produto entre frequência ventilatória e o volume corrente. Em repouso um indivíduo pode atingir 7-9 L/min, no entanto quando os atletas durante a atividade física podem atingir valor como os 200L/min. (5)

Coefficiente respiratório ou rácio de troca respiratória (R)

É um dos indicadores não invasivos mais usados na determinação do esforço máximo. Expressa o rácio entre a produção de CO_2 e o consumo de VO_2 (VCO_2/VO_2). Quando obtermos valores próximos de 1, significa que o exercício encontra-se numa intensidade elevada e existe um aumento na produção de CO_2 . No entanto, quando o valor encontra-se em valores superiores a 1.10 significa que indivíduo entrou num estado de fadiga e o teste terminará após a exaustão do atleta. (5)

Equivalente ventilatório para o oxigénio e dióxido de carbono

À medida que a intensidade do exercício aumenta de modo ligeiro a moderado, as relações VE/VO_2 e VE/VCO_2 diminuem, posteriormente ocorre um aumento até o final do esforço. A VE/VO_2 atinge valores mínimos precedendo a relação VE/VCO_2 . As variáveis citadas são de fundamental importância na deteção do limiar anaeróbio. (4,5)

Pressão parcial expiratória de CO₂ (PETCO₂)

Reflete a relação entre ventilação e perfusão e indiretamente a função cardíaca. O valor normal varia entre os 36-42 mmHg. Durante o exercício moderado ocorre uma elevação entre 3 a 8 mmHg. Valores anormais poderão estar associados a patologias como insuficiência cardíaca, miocardiopatia hipertrófica, hipertensão pulmonar entre outras. (5)

1.2 Metodologia Aplicada no Teste de Ergoespirometria

São várias as condições prévias que devem ser asseguradas para uma boa avaliação. É importante ter em conta que o sujeito poderá não estar familiarizado com o teste e isso provoque um quadro de ansiedade gerada pela expectativa do participante. Tendo em conta a prática clínica é necessário que haja um bom entendimento acerca do material a ser utilizado, o modo como o teste vai ser aplicado e aquilo que é pretendido avaliar, para que o teste seja realizado sob as melhores condições possíveis. (4) Além das indicações que devem ser dadas ao participante devem também ser asseguradas outras condições que têm correlação direta com os resultados obtidos na execução do teste, tais como:

- Registos eletrocardiográficos.
- As condições de temperatura, ambiente e humidade (devem ser próximas aquelas em que o sujeito pratica a sua modalidade desportiva).
- Equipamentos de emergência (desfibrilador e fármacos apropriados).
- Calibração dos equipamentos com aplicação pré-teste e ajustar às necessidades do participante.
- Criação de uma equipa multidisciplinar para registo e análises de dados.

1.3 Contra-Indicações Absolutas e Relativas

Antes da execução do teste há que ter em conta as possíveis contra-indicações, Tabela 1, que impossibilitem a realização do mesmo. Com isto, pretende-se que o exame seja feito sob condições ótimas e que sejam evitados um conjunto de sinais e sintomas que podem por em causa a integridade física e saúde do indivíduo.

Tabela 1: Contra-indicações Absolutas e Relativas. Tabela adaptada da American Heart Association Exercise (3)

Contra-indicações Absolutas	Contra-indicações Relativas
<ol style="list-style-type: none">1. Enfarte agudo do miocárdio, com 2 dias.2. Angina instável a decorrer.3. Arritmia cardíaca sem controlo hemodinamico.4. Endocardite aguda5. Estenose aórtica grave sintomática.6. Insuficiência cardíaca descompensada.7. Embolia pulmonar aguda, enfarte pulmonar ou trombose venosa profunda.8. Miocardite ou pericardite aguda.9. Dissecção aórtica aguda.10. Incapacidade física que impede testes seguros e adequados.	<ol style="list-style-type: none">1. Estenose obstrutiva da artéria coronária esquerda conhecida.2. Estenose aórtica moderada a grave com relação incerta.3. Taquiarritmias com frequências ventriculares não controladas.4. Bloqueio cardíaco avançado ou completo adquirido.5. Cardiomiopatia obstrutiva hipertrófica com gradiente de repouso severo.6. Acidente vascular cerebral recente ou Acidente isquémico transitório.7. Deficiência mental com capacidade limitada de cooperar.8. Pressão arterial sistólica ou diastólica de repouso >200/110 mmHg.9. Condições médicas não corrigidas como anemia, distúrbio eletrolítico e hipertiroidismo.

1.4 Equipamento Utilizado

Eletrocardiograma

Este tipo de equipamento varia tendo em conta as opções existentes no mercado, desde sistemas mais sofisticados (wireless) aos mais convencionais. Independentemente do sistema que seja utilizado deve ser associado a um computador que garanta com precisão o registo e análise dos dados decorrentes da prova. O eletrocardiograma com 12 derivações é essencial na monitorização de possíveis alterações em tempo real que o indivíduo possa ter, por exemplo o registo de uma eventual isquémida do miocárdio.

Os elétrodos devem estar bem aderidos à pele do sujeito de forma a minimizar as interferências, posto isto uma boa preparação da pele antes do exame não deve ser negligenciada. (4, 6)

Monitorização da pressão arterial

No que diz respeito ao registo da pressão arterial, está preconizado que deve ser dada preferência ao manual face ao digital. Os aparelhos com registo digital podem registar pressões mais elevadas face aos movimentos do braço durante o teste.

Em relação ao manguito, deve ser sempre ajustado antes da prova tendo em conta ao sujeito que vamos avaliar. (6)

Passadeira ergométrica

No que diz respeito à passadeira ergométrica, existem muitas opções válidas no mercado, umas mais sofisticadas do que outras. No entanto para que o teste possa ser efetuado a passadeira ergométrica deve ser elétrica, conseguir acomodar uma variedade de pesos e ter a possibilidade de obter uma ampla gama de velocidades a poderem ser atingidas. É importante realçar que nos atletas a velocidade máxima atingida é habitualmente superior à da população em geral.

A plataforma deve ser larga e comprida o suficiente para que o exame seja realizado com a maior comodidade possível para que o indivíduo não tenha qualquer tipo de limitação. Por fim, todo o equipamento deve ter um botão de emergência, caso ocorra alguma anormalidade, que faz com que a prova termine naquele exato momento. (6)

Equipamento dirigido ao registo e controlo de troca dos gases

O laboratório deve estar equipado com material que seja capaz de efetuar corretamente o registo e análise das trocas gasosas durante a execução do teste. No entanto, a precisão e as informações adicionais que esta tecnologia pode fornecer depende de alguns ajustes que o profissional possa ter que fazer quer com o aparelho em si quer com o sujeito que vai executar o teste. (5) Existem vários tipos de equipamentos que podem ser utilizados, desde o uso de máscara até à simples utilização do espirómetro bucal com o uso de *clipp* nasal. Antes do exame é necessário ajustar bem o material a ser utilizado ao paciente de modo a não haverem fugas de ar. Outro dado importante e que pode ser valorizável é o facto de durante a prova haver uma sensação de ressecamento com o uso bucal, posto isto, é recomendado utilizar uma quantidade mínima de água antes do exame para atenuar o efeito do material durante a prova. (4)

1.5 Protocolos

Para uma correta execução e avaliação do teste deve existir um conjunto de protocolos que reúnam diretrizes que estejam em conformidade com a comunidade científica de forma obter dados mais próximos aos valores reais. A execução do mesmo protocolo tem um papel importante no registo, análise e comparação dos dados visto que simulam as mesmas condições para diferentes participantes na prova.

Posto isto, existem dois padrões mais comuns na execução de um teste de ergoespirometria: os protocolos usados através do uso da bicicleta e passadeira rolante, cada um com as suas diferenças. Relativamente ao uso da bicicleta podemos afirmar que a duração do teste ronda os 8-17 minutos, a potência é medida em watts. No que diz respeito ao uso da passadeira rolante, esta apresenta algumas vantagens em relação à bicicleta (Tabela 3): maior familiarização com a atividade em si, envolve maior quantidade de músculos e trabalho contra a gravidade. Consequentemente a Pressão Venosa de Oxigénio é em média, 5 a 10% maior na passadeira rolante do que na bicicleta ergométrica. (4)

Tabela 2: Diferenças entre as variáveis no teste em Bicicleta e em Passadeira Rolante. Tabela adaptada da American Heart Association Exercise (3)

Variáveis	Bicicleta	Passadeira Rolante
Volume máximo de Oxigénio	Menor	Maior
Medição da taxa de trabalho	Sim	Não
Colheita de gás sanguíneo	Facilitada	Dificultada
Ruído e artefactos	Menor	Maior
Segurança	Seguro	Seguro
Suporte de peso em indivíduos obesos	Menor	Maior
Grau de treino muscular das pernas	Menor	Maior
Mais apropriado para:	Pacientes	Pessoas ativas

O protocolo de Bruce é amplamente usado e aceite pela comunidade científica nos testes cardiopulmonares contudo, devemos ter em consideração o tipo de população que pretendemos estudar. O mesmo protocolo não deve ser executado em pessoas com patologia

cardíaca, pessoas saudáveis ou atletas devido às diferenças existentes na condição física entres estes grupos. Quando o exame cardiopulmonar é aplicado em atletas existem um conjunto de funcionalidades que podem:

- Avaliar a condição física para posterior programação e otimização de treino.
 - Avaliar a progressão da condição física depois de terem sido definidos programas de treino.
 - Diagnosticar condições cardiopulmonares que afetam desempenho do exercício.
 - Induzir arritmias ou avaliar resposta hemodinâmica durante o exercício em atletas que necessitam de uma avaliação cardiovascular para retornar ao desporto em segurança.
- (7)

Protocolos de Bruce, Naughton, Balke e Astrand

Como foi referido anteriormente o protocolo padrão de ouro para avaliação cardiopulmonar é o de Bruce que cumpre os seguintes critérios: (8)

- Iniciar o teste em marcha na passadeira.
- Para o primeiro patamar, nos primeiros 3 minutos, estabelecer a velocidade de 3 km.h^{-1} ($\approx 1,7 \text{ mph}$) e a inclinação de 10%.
- No início do 3º minuto aumentar a velocidade para 4 km.h^{-1} ($\approx 2,5 \text{ mph}$) e a inclinação para 12%, até ao final do 6º minuto.
- Nos patamares seguintes, cada um também de 3 minutos, a velocidade aumenta 1.5 km.h^{-1} ($\approx 0,9 \text{ mph}$) e a inclinação aumenta 2% a cada patamar.
- O teste termina até o individuo ficar exausto, não conseguindo este manter o ritmo determinado pela prova.
- Registrar o tempo total do teste.

Ao analisar o gráfico da Figura 1, podemos constatar que no primeiro patamar o indivíduo encontra-se a 4 METs (equivalente metabólico), posteriormente ao progredir para cada um dos patamares superiores existe uma progressão de 3 METs em cada. Um indivíduo que se encontre no segundo patamar encontra-se a 7METs, no terceiro encontra-se a 10 METs e assim sucessivamente. Posto isto, podemos verificar que a amplitude no que diz respeito aos METs entre cada patamar é muito elevado o que dificulta um teste mais objetivo e controlado.

Além do mais, no que diz respeito aos atletas este tipo de teste não consegue ter um grau de viabilidade elevado tendo em conta que muitas das vezes não conseguem efetuar um verdadeiro teste de esforço máximo e também subestimam limiar aeróbio. (7)

Tendo em conta às dificuldades encontradas no teste de Bruce foram desenvolvidos novos protocolos, Naughton e Balke, que no entender dos autores do estudo estará mais bem desenhado devido à diferença entre METs entre cada patamar ser de apenas aproximadamente de 1 MET. (7) Estes testes mantêm velocidades baixas e constantes aumentando 3,5% ou 2,5% a inclinação respetivamente, a cada 2 minutos.

Para atletas que pretendam determinar zonas de treino ideais através da frequência cardíaca e progredirem durante o treino é necessário a elaboração de protocolos com velocidades superior e que tenham uma baixa amplitude de METs entre patamares. Nesse sentido, foi desenvolvido o teste de Astrand. No início do teste o atleta encontra-se a uma velocidade alta com 0% de inclinação. A cada 2 minutos juntamente com a mudança de patamar, a inclinação também aumenta 2%. O teste termina quando o atleta não tolerar mais o esforço. É importante salientar que o teste de Astrand apresenta uma variação de 1 MET entre cada patamar consecutivo. (7)

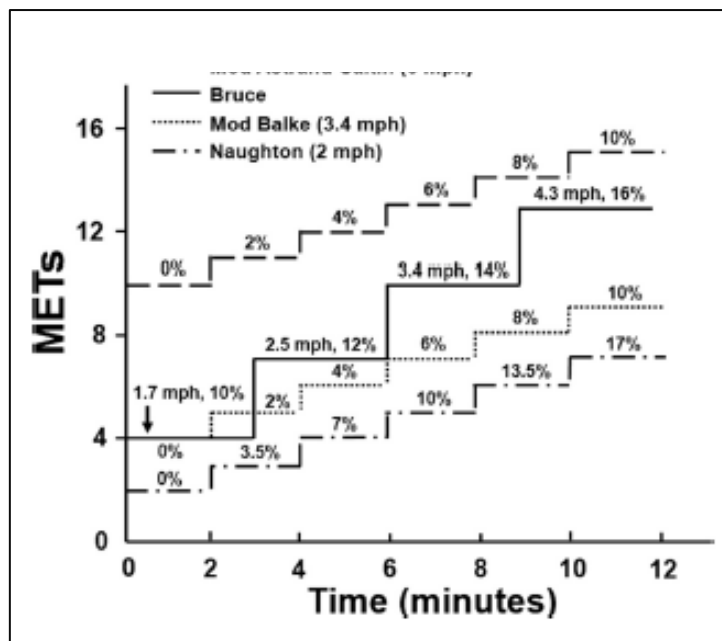


Figura 1: Diferentes Protocolos utilizados na avaliação cardiopulmonar. (7)

1.6 Indicações para o interrupção do Teste

Tal como acontece antes da execução do teste, durante a realização do mesmo existem um conjunto de diretrizes que devemos seguir de maneira a que hajam condições óptimas e que sejam evitados um conjunto de sinais e sintomas que podem por em causa a integridade física e saúde do individuo. Posto isto, a Tabela 2 reúne um conjunto de indicações absolutas e relativas para o termino do teste quando se verificam as seguintes situações.

Tabela 3: Indicações absolutas e relativas para o termino do teste. Tabela adaptada da American Heart Association Exercise. (3)

Indicações Absolutas	Indicações Relativas
<ol style="list-style-type: none">1. Elevação do segmento ST (>1,0mm) em derivações sem ondas Q preexistentes devido ao enfarte do miocárdio (excepto aVRL, aVL e V1).2. Descida da pressão arterial sistólica >10mmHg, apesar do aumento da carga de trabalho, quando acompanhada de qualquer outra evidência de isquemia.3. Angina moderada a grave.4. Sintomas do sistema nervoso central (ataxia, tontura, síncope, entre outros).5. Sinais de má perfusão (cianose ou palidez).6. Taquicardia ventricular sustentada ou outra arritmia, incluindo bloqueio atrioventricular de segundo ou terceiro grau, que interfere na manutenção normal do débito cardíaco durante o exercício.7. Dificuldades técnicas na monitorização do ECG ou da pressão arterial sistólica.8. Pedido do sujeito para parar a prova.	<ol style="list-style-type: none">1. Desvio acentuado do segmento ST (horizontal ou descendente de >2mm, medindo 60 a 80 ms após o ponto J, num paciente com suspeita de isquemia.2. Descida da pressão arterial sistólica >10mmHg (persistentemente abaixo da linha de base) apesar do aumento de carga de trabalho, na ausência de outras evidências de isquemia.3. Aumento de dor no peito.4. Fadiga, falta de ar, pieira, câibras nas pernas ou claudicação5. Arritmias que não sejam taquicardia ventricular sustentada, incluindo ectopia multifocal, trigeminismo ventricular, taquicardia supraventricular e bradicardia com potencial de se tornarem mais complexas ou interferir na estabilidade hemodinâmica.6. Resposta hipertensiva exagerada (pressão arterial sistólica >250mmHg ou pressão diastólica >115mmHg).7. Desenvolvimento de bloqueio de ramo que não consegue ser diferenciado de taquicardia ventricular.

2. Caracterização das Vias Energéticas vs Modalidade Desportiva

Tendo em conta os diferentes contextos em que a Ergoespirometria pode ser aplicada, esta dissertação pretende ser uma abordagem dirigida à utilização deste teste, na avaliação da capacidade física e tolerância ao esforço por parte da comunidade desportiva, nomeadamente no futebol. Nesse sentido é importante estudar as adaptações fisiológicas às quais os indivíduos estão e expostos e saber caracterizar as exigências físicas da modalidade desportiva em que estão inseridos.

No que diz respeito ao exercício é muito pouco comum os atletas praticarem modalidades onde haja um aumento gradual e linear da intensidade do exercício. Normalmente a atividade física sofre variações bruscas de alta intensidade seguida por períodos de baixa intensidade ou até mesmo repouso. Neste sentido é fulcral ter em atenção durante a avaliação dos atletas, o tipo de exigência física a que o sujeito está exposto. Seria desadequado elaborar um teste em que as características do sujeito não se enquadram no tipo de exigência física à qual está exposto nos treinos/competições na sua modalidade desportiva. (7)

Além do referido anteriormente é necessário antes do exame, efetuar uma boa história clínica ao atleta no sentido de apurar algumas das suas principais dificuldades na prática da sua modalidade desportiva. Por exemplo, é importante saber se um jogador de futebol consegue ter a consistência física pretendida para poder jogar os noventa minutos. Caso o atleta expresse uma maior dificuldade em manter o seu rendimento a partir do minuto 65 ou 70 significa que existe um conjunto de variáveis às quais o sujeito não está adaptado e que implica uma diminuição da sua performance. Assim sendo, idealmente o teste deveria ser executado num contexto desportivo semelhante para obter os resultados mais próximos aos reais, no entanto, na impossibilidade de o fazer durante a competição existe a possibilidade de haver uma avaliação através de um teste em laboratório que deverá ter um modelo de avaliação que simule uma partida de futebol. Sabemos que esta modalidade implica tanto uma componente aeróbia (corrida) como uma vertente anaeróbia (*sprints/ saltos / remates*) ao longo de noventa minutos, portanto a combinação destas componentes será importante no momento da avaliação no início/meio/fim do teste de medidas como VO_2 máx, lactato sérico entre outros. Nesse sentido, no caso do futebol, o exame na passadeira ergométrica deveria ser executado com períodos intermitentes de repouso, baixa-média-alta intensidade, assim como componentes como saltos ou outros movimentos que simulem situações próximas às reais.

Em modalidades desportivas que impliquem períodos superiores a 20-30 minutos de duração, os níveis de lactato num indivíduo bem treinado deve permanecer abaixo de 4 mmol/L durante o exercício. Este acontecimento traduz o equilíbrio que ocorre entre a geração e depuração de lactato no metabolismo do atleta. Segundo o autor, nos atletas altamente treinados o limiar de lactato pode estar próximo a 90% do VO_2 máx. (6)

Portanto, tendo em conta aquilo que foi descrito anteriormente podemos inferir que, caso os níveis de lactato estiverem acima do limite durante o ensaio pode sugerir que o atleta esteja a sobrevalorizar as suas capacidades atléticas. Portanto, por vezes diminuir a intensidade da corrida durante a prova poderá ser fundamental para obter um desempenho superior e mais prolongado. Por outro lado, limiares de lactato elevados podem sugerir que o indivíduo poderá necessitar de treinos mais intensos e rigorosos de modo a conseguir extrair o máximo da sua performance. Para desportos de curta duração e que impliquem períodos de alta intensidade, a interpretação dos níveis de lactato pode ser difícil. Nesse tipo de desportos a capacidade de fosforilação ao nível do substrato é o indicador mais indicado para avaliar o desempenho. (7)

Toda a descrição anterior deixa bem patente a ideia de que para além de ser benéfico fazer uma avaliação do estado atual dos atletas e também de extrema importância saber ajustar os testes às modalidades desportivas desenvolvidas pelos indivíduos. Concluindo, é necessário que haja uma revisão acerca dos testes elaborados por patamares pois muitas das vezes não traduzem aquilo que acontece dentro do contexto desportivo. Novos paradigmas devem ser desenvolvidos no sentido de aproximar o desporto em si com a realização do teste que avalia as capacidades metabólicas dos atletas. (7)

2.1 Caracterização das Vias Energéticas do Futebol

O Futebol é um desporto coletivo, onde cada equipa é formada por 11 elementos dentro do terreno de jogo, sendo que o número de suplentes pode variar tendo em conta os diferentes campeonatos nos diversos países. Habitualmente um plantel pode oscilar entre os 21-25 elementos dependendo de vários fatores (estratégicos/económicos, entre outros).

Em traços gerais uma equipa de futebol para além do guarda-redes é constituída por vários jogadores divididos em diferentes setores: o setor defensivo constituído pelos defesas laterais e centrais; setor médio, que é representado pelos médios centros e alas; setor avançado constituído pelos avançados. Cada posição tem um conjunto de particularidades táticas e exigências metabólicas que vão influenciar a performance dos indivíduos no terreno de jogo. Desta forma, é necessário enquadrar as características dos jogadores à posição ou treinar algumas lacunas físicas que os jogadores apresentem na sua posição, por forma a melhorarem o seu desempenho.

Avaliação do Gasto Energético

Sabemos também que um jogo de futebol num período regular é de 90 minutos, que são divididos em duas partes, separados por um intervalo de 15 minutos. A atividade executada durante o jogo é constituída por períodos de alta intensidade alternada com períodos de baixa/média intensidade até ao repouso. Ou seja, estamos perante uma atividade do tipo intermitente (acíclica) em que existem várias componentes energéticas, desde a atividade aeróbia à atividade anaeróbia. (9) Para avaliar a capacidade aeróbia no futebol o volume máximo de oxigénio é o parâmetro mais utilizado juntamente com o limiar anaeróbio. (10) É de salientar que, apesar de cada posição no terreno de jogo apresentar certos padrões de exigência metabólica, esta é dependente de vários fatores: intrínsecos (capacidade psicológica do atleta, condição física, histórico de lesões, entre outras) e extrínsecos (tipo de equipamento utilizado pelo jogador, o estado do relvado, estado do tempo, etc.). Todos estes fatores, influenciam e condicionam a performance desportiva do atleta. Posto isto, além das vias energéticas associadas à atividade desportiva devemos ter em consideração estes fatores, para possamos ter uma visão holística do atleta.

Relativamente às vias energéticas utilizadas no futebol, estas estão dependentes de vários fatores: da posição ocupada em campo por cada jogador, da estratégia de cada treinador para a equipa, do nível competitivo e das diversas fases do jogo. Todos estes fatores, desempenham um peso significativo na caracterização individual de performance. (9)

Através de vários estudos feitos, foi possível recolher um conjunto de dados que nos permitem quantificar aquilo que acontece no terreno de jogo:

Distância percorrida - em média um jogador de futebol percorre entre 8-12km por jogo, dependendo da sua função específica. (9)

Frequência cardíaca - os valores médio de frequência durante o jogo varia entre 160-170 bpm, atingindo a frequência máxima. É importante frisar que existe um decréscimo da primeira para segunda parte em média de 10 bpm. (9)

Lactato - as concentrações de lactato são variáveis, em que os valores máximos variam entre 10-15mmol/L nas fases mais intensas, mas nas concentrações médias a variação situa-se entre os 4-8mmol/L. É importante referir a diminuição das concentrações de lactato da primeira para a segunda parte. (9) A alta concentração de lactato sanguíneo frequentemente vista no futebol pode não representar alta produção de lactato numa ação isolada no jogo mas sim a acumulação das múltiplas atividades de alta intensidade. (11)

Volume máximo de oxigénio - vários estudos foram efetuados e existem resultados que se contradizem, contudo existe alguma evidência de que os médios e os laterais, mostram um volume máximo de oxigénio, relativamente a jogadores noutras posições. Para muitos autores isto deve-se ao facto de que os jogadores que estão nestas posições têm uma atividade aeróbia superiores aos restantes, devido a participação nas diferentes fases do jogo (defesa e ataque). (10)

Movimento vs Posição

Quando relacionamos apenas a distância com o dispêndio energético durante um jogo de futebol, podemos ser induzidos em erro tendo conta os dados que obtemos. Existe a certeza que no decorrer de vários estudos foram omitidas várias variáveis não relacionadas com a corrida que têm um grande impacto na performance desportiva e consequentemente no gasto energético dos atletas. Saltos verticais, mudanças de direção, contacto físico com os adversários, cabeceamentos, remates, geram um dispêndio de energia que muita das vezes não é contabilizada. De acordo com alguns estudos efetuados estima-se que ocorrem 1000-1500 destes movimentos em cada jogo com uma frequência de 5-6 segundos, com pausas de 3 segundos a cada 2 minutos. (12)

Através dos vários estudos realizados foi possível determinar em detalhe quais as exigências físicas a que os jogadores da Premier League estão sujeitos durante uma partida de futebol. O estudo dividiu os jogadores das equipas em três grupos: defesas, médios, atacantes. Cada posição no terreno de jogo tem a sua função e conseqüentemente espera-se que ocorram variações acerca dos dados para cada jogador. Durante o estudo foram identificadas diferenças significativas entre os três grupos para o tipo e tempo de movimento feito: (12)

Tabela 4: A Tabela descreve o tempo médio (em percentagem dos 90 minutos de jogo) para cada tipo de movimento por posição no terreno de jogo (Defesa, Médio e Avançado). Os dados são médias (+/- SD). *significativamente diferente e outras posições. Tabela adaptada da Journal of sports science & medicine (12)

Variáveis	Avançado (n=19)	Médio (n=18)	Defesa (n=18)	Total (n=55)	H2	p
Parado	5.3 (3.5)	2.1 (1.6)*	6.3 (2.5)	4.6 (3.2)	22.4	<0.00
Andar	14.1 (3.8)	12.8 (4.2)	15.8 (4.5)	14.2 (4.3)	3.6	0.163
Corrida Lenta	24.7 (8.7)	28.3 (12.0)	31.5 (6.8)	28.1 (9.6)	4.6	0.101
Corrida Rápida	11.1 (4.5)	14.6 (9.2)	7.6 (3.6)*	11.1 (6.8)	9.6	0.008
Corrida Muito Rápida	5.5 (3.3)	6.4 (3.1)	2.5 (1.3)*	4.8 (3.2)	17.4	<0.00
“Skipping”	8.3 (2.8)	9.1 (3.8)	12.3 (6.2)*	9.9 (4.7)	8.3	0.016
“Shuffling”	9.5 (1.6)	7.9 (2.1)*	10.5(3.2)	9.3 (2.6)	8.0	0.018
Outro	21.5 (7.7)	18.8 (5.6)	13.6 (8.0)*	18.1 (7.8)	7.8	0.020

Defesas - comparativamente com os outros sectores, a defesa desempenhou maior quantidade em de Corrida lenta e uma menor percentagem do seu tempo em Corridas Rápidas e Muito Rápidas. É importante realçar que os carrinhos com o apoio de apenas um pé para intercetar e/ou recuperar a bola é um dos movimentos que caracterizam os defesas.

Médios - são sujeitos que apresentam menor percentagem de tempo em que estão parados. No entanto apresentam maior exposição a Corridas Rápidas e Muito Rápidas.

Médios e Avançados - apresentam maior percentagem de exposição a outro tipo de movimentos tais como: saltos, deslizes, carrinhos, quedas entre outros. (12) O número de

bloqueios e saltos estão dependentes do sector a que o jogador pertence e das características, contudo em média ocorrem cerca de 3-27 e 1-36 por jogo respetivamente. (11)

Relativamente à frequência de mudanças direção por jogo, podemos citar que a maioria é feita no intervalo de 0-90°. Se dividirmos por sector podemos dizer que aproximadamente 700 mudanças são feitas pelos defesas, 500 por médios e 600 por avançados. Contudo os médios e os avançados efetuam mais mudanças de direção na amplitude de 270-360° do que o sector defensivo. Podemos também inferir que: (12)

- Os jogadores passam em média 40% da partida de futebol em movimentos.
- A posição teve influência significativa na percentagem de movimento realizado, com exceção quanto à corrida ou tempo parado.
- Em média os jogadores fizeram mais de 700 mudanças de direção sendo a mais frequente realizada a uma amplitude de 0-90°.
- Os avançados tiveram um desempenho maior a alta intensidade e mais situações de contacto.

3. Ergoespirometria - VO₂ e Limiar Lactato no Controle e Monitorização de Treino

3.1 Exercício Físico e Adaptações Fisiológicas

No que diz respeito ao exercício físico, existem um conjunto de adaptações que o organismo humano adota face ao volume e intensidade da atividade física a que o indivíduo está exposto. De entre os marcadores fisiológicos que sofrem alterações, podemos citar: VO₂max, Limiar de Lactato função hemodinâmica central, sistema nervoso autonómico, função muscular e vascular periférica. No seu todo estas adaptações a longo prazo fazem com que um indivíduo consiga efetuar e manter uma atividade física de alta intensidade, com frequências cardíacas mais baixas. O exercício do tipo aeróbio aumenta a capacidade de transporte de oxigénio que se traduz pelo aumento do Volume de Oxigénio que é fornecido ao tecido muscular, devido ao aumento do débito cardíaco em indivíduos bem treinados. Em relação ao músculo, podemos dizer que o aumento de mitocôndrias potencia a atividade oxidativa, aumentando o tempo que o indivíduo consegue permanecer em atividade do tipo aeróbia. As fibras musculares também desempenham um papel importante no que diz respeito ao tipo de treino que o indivíduo está a ser exposto. As fibras do tipo 1 estão relacionadas com atividade do tipo aeróbia, enquanto que as fibras do tipo 2 são recrutadas quando atividade é do tipo anaeróbia. (3,13)

O exercício tem impacto direto no que diz respeito ao sistema vascular. Os indivíduos bem treinados, têm o tamanho e dilatação das artérias coronárias aumentados o que faz com que haja melhoria significativa a nível cardiovascular. O mecanismo subjacente parece estar relacionado com os níveis de óxido nítrico que se encontram na corrente sanguínea através da sinalização do endotélio vascular. É importante realçar que a atividade física também ajuda a que haja uma regeneração mais eficaz do endotélio. Estes dados sugerem que o exercício físico poderá prevenir ou atrasar o envelhecimento normal relacionado com a idade, diminuindo assim os problemas relacionados com o sistema vascular. Além dos sistemas mencionados anteriormente, o sistema nervoso autónomo também sofre algumas adaptações face ao exercício. Constatou-se que em indivíduos treinados antes e após o exercício físico, as concentrações sanguíneas de catecolaminas são menores do que em indivíduos sedentários, o que indica uma menor atividade do sistema nervoso simpático. Os barorreceptores arteriais, as fibras aferentes que têm origem no seio carotídeo e arco aórtico, regulam a pressão arterial a cada batimento cardíaco e ajustam a frequência cardíaca, o volume de ejeção sistólica e a resistência periférica dos vasos. Durante o exercício, a função dos barorreceptores é modificada com o intuito de aumentar a pressão arterial, por forma a

manter uma atividade cardiovascular eficaz. O sistema parassimpático pode aumentar com o ajuste do sistema simpático e coincide com diminuição da frequência cardíaca e da pressão arterial após o exercício. (3,13)

No que diz respeito ao estudo de variáveis que auxiliem o controlo e monitorização do treino a ergoespirometria é um teste que possibilita a determinação do Limiar Anaeróbio e Volume Máximo Oxigénio. É importante entender a função de cada uma destas variáveis e como se relacionam com a intensidade do exercício.

3.2 Limiar Anaeróbio e Exercício Físico

Tendo em conta os estudos recentes existe uma relação entre intensidade dos treinos baseado na fisiologia individual dos eventos, permitindo assim aos atletas diminuírem o risco de lesão e fadiga. Além das vantagens referidas anteriormente é importante definir as zonas de treino, no que diz respeito à intensidade, o que permite aos atletas aprimorarem as adaptações individuais e evoluírem de acordo com a estrutura de treino montado tendo em conta as suas necessidades. É importante frisar que o mesmo plano para atletas com necessidades fisiológicas diferentes produzem adaptações também elas diferentes e consequentemente terão influência na performance dos mesmos. Assim, quanto mais individualizados os limiares e as zonas de treino, mais precisa será a prescrição do exercício e maior será a adaptação / desempenho dos atletas. (14-17)

Limiar anaeróbio

Como referido anteriormente o limiar anaeróbio é utilizado na prescrição do treino e avaliação dos atletas. Este parâmetro ajuda a definir o equilíbrio dinâmico máximo entre a produção e remoção do lactato, o que contribui na definição de zonas de treino.

Na literatura por vezes existe um uso inapropriado da terminologia acerca do limiar anaeróbio. Sendo assim é importante definir o modo como o limiar poderá ser obtido. Caso a determinação do limiar seja obtido através da medição de lactato, o limiar denomina-se limiar de lactato. Por outro lado, caso o limiar seja obtido através da análise dos dados ventilatórios, este será denominado de limiar ventilatório. (15-17)

3.3 Limiar ventilatorio

O limiar ventilatório (LV) foi proposto com o propósito de determinar, de forma indireta, a intensidade de esforço em que o lactato no sangue sofre elevação em relação ao valor de repouso, durante teste de esforço progressivo.

Vários critérios têm sido utilizados na detecção do LV. Três dos mais utilizados são: (19)

- (1) aumento do equivalente ventilatório de O₂ (VE/VO₂) sem aumento concomitante do equivalente ventilatório de CO₂.
- (2) quebra da linearidade do aumento da ventilação-minuto (VE).
- (3) quebra da linearidade entre os aumentos do VCO₂ e VO₂ (V-slope).

O aumento não linear da ventilação-minuto durante o exercício, em geral, está associado ao aumento da concentração plasmática de CO₂ decorrente do tamponamento do ácido láctico. No entanto, existem condições nas quais a resposta ventilatória ocorre com um certo atraso em relação à resposta metabólica, como na obesidade, doença pulmonar obstrutiva crônica, insensibilidade quimiorreceptora e até em alguns indivíduos saudáveis. Alguns estudos sugerem ainda que o aumento da ventilação durante o exercício pode ocorrer não apenas pelo aumento da concentração plasmática de íões de hidrogénio e CO₂, mas também devido a estímulos não humorais originados nos músculos ativos ou no córtex motor. Dessa forma, o LV parece ser um indicador da função aeróbia não ligado causalmente ao limiar de lactato. A alta associação encontrada entre eles em alguns estudos parece ser casual. (19)

Limiar Ventilatório 1 e Limiar Ventilatório 2

É necessário explicar que existem dois momentos fundamentais na determinação do limiar, o limiar ventilatório 1 e 2. O LV1 ocorre numa intensidade de exercício na qual o nível de ácido láctico no sangue aumenta acima dos valores de repouso. Entretanto, nessa intensidade não se verifica diminuição significativa do pH sanguíneo. Em relação ao LV2, este representa a intensidade de esforço acima da qual, durante exercícios de carga crescente, ocorre acúmulo de ácido láctico no sangue e fadiga precoce. (19, 20)

LV1

Quando um atleta está neste patamar de intensidade, estimula pouco a produção e o acúmulo de ácido láctico no músculo, pois tem participação predominante das fibras musculares do tipo I (oxidativas) e utiliza o oxigênio como parte integrante do processo de obtenção de energia. Treinar em LV1 é de grande utilidade no desenvolvimento da capilarização muscular após exercícios intensos em indivíduos que estão a recuperar de lesões musculares e que foram afastados da competição por um longo período de tempo e/ou em indivíduos sedentários que querem iniciar um plano de treino.

Durante este período ocorre um aumento da produção e eliminação do CO_2 estimula uma maior ventilação. A ventilação deixa de ser linear ao VO_2 com o aumento da intensidade de esforço, na tentativa de manter normais os valores da pressão parcial de dióxido de carbono e da pressão parcial de oxigênio, compensando a acidose metabólica através de alcalose respiratória. A perda da linearidade da ventilação com o aumento do esforço permite a determinação do limiar ventilatório. (19, 20)

LV2

Nesta fase o exercício físico é considerado de intensidade moderada a intensa, pois ocorre aumento na concentração de ácido láctico significativamente acima dos valores verificados no LV1. Para isso existe a forte contribuição do recrutamento dos diversos tipo de fibras musculares, a do tipo I aeróbia e a participação das fibras do tipo IIa e IIb de padrão glicolítico misto e anaeróbio, respetivamente, estimulam o aumento de ácido láctico sanguíneo.

No LV2 a resposta ventilatória é aumentada progressivamente como tentativa de compensar a acidose metabólica. Além disso, a capacidade tampão do músculo é excedida e ocorre maior produção e acúmulo de ácido láctico sanguíneo. Caso o atleta mantenha a mesma intensidade de esforço, por um longo período de tempo, o atleta entrará num estado de fadiga muscular intensa.

Até a intensidade do LV2 a acidose metabólica pode ser compensada por uma alcalose respiratória através da hiperventilação. Na intensidade de esforço acima do LV1, ocorre aumento da acidose metabólica e do VCO_2 , o que conseqüentemente provoca uma queda do pH e por seguinte um aumento do VE/VCO_2 e queda da $\%\text{FeCO}_2$. Aqui ocorre o ponto chamado de compensação respiratória. (19, 20)

3.4 Limiar Ventilatório, VO_2 e Performance

Um dado importante acerca dos limiares ventilatórios em atletas é que eles estão em intensidades de exercícios mais próximos do LV2 do que no LV1, o que se assemelha ao esforço realizado durante as competições.

Um LV2 elevado, ou seja, uma fração elevada do VO_2 sem que haja acúmulo progressivo de ácido láctico no sangue tem importantes implicações funcionais. Basicamente, o atleta está melhor preparado para realizar atividades energéticas de maior intensidade por períodos de tempo mais prolongados. Consequentemente, é sem dúvida uma vantagem utilizar uma percentagem alta do seu VO_2 sem entrar em acidose metabólica precoce. É importante salientar que, em atletas, o LV2 é fundamental quando se objetiva potencializar sua condição aeróbia. Pois o exercício realizado nessa intensidade apresenta maior eficiência metabólica. (19, 20)

O volume máximo de oxigénio é uma das principais medidas usadas na avaliação aeróbia. No entanto, nos últimos anos existem outros indicadores que têm sido adicionados com intuito de ter variáveis mais precisas para a avaliação da resistência aeróbia. Entre essas variáveis estão o limiar ventilatório e o limiar de lactato.

O facto de o limiar de ventilatorio poder aumentar, sem haver mudança de $VO_{2máx}$ e que os indivíduos com o mesmo $VO_{2máx}$ não sustentam mesma duração do esforço, demonstra a maior eficiência do limiar ventilatório para controlo e monitorização do treino. (21)

3.5 Avaliação do Volume de Oxigénio e a sua Aplicabilidade no Rendimento Desportivo

Determinar e melhorar a performance dos Atletas é um dos maiores desafios que os preparadores físicos, fisiologistas e médicos têm enfrentado ao longo das últimas décadas. Existem variáveis, tais como o Volume de Oxigénio, Limiar Anaeróbio, Frequência Cardíaca (FC), que nos auxiliam a obter uma resposta mais precisa e fiável no que diz respeito à performance dos indivíduos. Neste caso em particular abordaremos a cinética do VO_2 no exercício que nos permite determinar o tipo de atividade (aeróbia ou anaeróbia), o tipo de substrato energético utilizado e a tolerância da duração do exercício.

3.6 Teoria Tradicional e Contemporânea em relação à cinética do VO₂

Existem várias teorias em relação à cinética do VO₂, a Tradicional e Contemporânea. A grande diferença entre ambas prende-se ao facto da visão tradicional não contemplar a componente Cardio-Dinâmica. Sendo assim as adaptações iniciais a que o indivíduo está sujeito não são consideradas por esta teoria. A visão tradicional descreve que existe um atraso no consumo de oxigénio face às necessidades apresentadas pelos músculos numa fase inicial do exercício e que seguidamente ocorre uma fase de plateau em que o valor de consumo de oxigénio estabiliza em cerca de 3 min. Além do referido, esta teoria ainda acrescenta que o VO₂ aumenta de forma linear à medida que se aumenta a intensidade do exercício até ser atingido o VO₂ máximo. (22)

No que diz respeito à teoria Contemporânea da cinética do VO₂, a resposta do VO₂ ao exercício é constituída por três fases: Componente Cardio-Dinâmica; Componente primária ou fundamental; Componente plateau.(22)

Fase I - Componente Cardio-Dinâmica

A resposta do VO₂ pulmonar é dependente da quantidade de sangue disponível nos capilares sanguíneos do pulmão e da eficácia das trocas gasosas. Deste ponto de vista o VO₂ pulmonar não reflete, numa fase inicial, com exatidão o consumo de oxigénio a nível muscular devido ao facto de existir um atraso de 10-20 segundos entre a chegada do oxigénio ao músculo e o seu retorno aos pulmões. Portanto, no início do exercício haverá uma fase em que o VO₂ pulmonar não reflete o consumo de oxigénio muscular. Logo de seguida, ocorre um aumento abrupto do VO₂ como resultado do aumento do retorno venoso, devido a maior contração muscular e aumento do fluxo ventricular direito que eleva o transporte de sangue aos pulmões.

Fase II - Componente primária, fundamental ou rápida

Durante esta fase ocorre uma mudança abrupta de VO₂ até ser atingido o plateau, que reflete a cinética do consumo de oxigénio muscular. Nesta fase ainda podemos considerar que existe um *deficit* de oxigénio, ainda que menor, no que diz respeito ao oxigénio fornecido aos tecidos musculares face à quantidade necessária.

Fase III - Componente de plateau

O atleta atinge o VO₂ máximo de exercício. Nesta fase o volume de oxigénio que chega aos grupos musculares encontra-se no seu máximo para determinada intensidade do exercício.

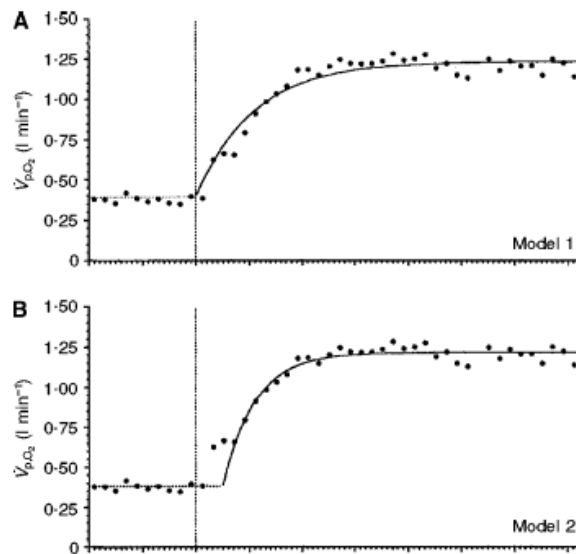


Figura 2: Abordagem das diferentes perspetivas: A Figura 1 B apresenta o atraso adaptativo do metabolismo, que corresponde à componente Cardio-Dinâmica. Já a Figura 1 A podemos constatar a ausência do registo desta fase. (14)

3.7 Intensidade do Exercício

A intensidade a que os exercícios são executados pode ser definida através da % de $VO_{2m\acute{a}x}$. No entanto, este conceito pode não ser o mais adequado quando usado de forma isolada pois a % $VO_{2m\acute{a}x}$ correspondente ao limiar anaeróbio varia entre os indivíduos. Ou seja, quando prescrevemos exercícios a 70% $VO_{2m\acute{a}x}$ de alguns indivíduos poderão estar abaixo do limiar anaeróbio, no entanto outros participantes podem estar acima do limiar. Posto isto, o desenvolvimento do indivíduo enquanto o atleta, será afetado caso não hajam a introdução de outros métodos de controlo e monitorização de treino, em particular a medição de lactato sérico.

Aos valores de lactato medidos, devem ser estabelecidos várias fases correspondentes, tais como: abaixo do limiar anaeróbio, limiar anaeróbio e *turnpoint* do lactato. Todas estas fases ao serem bem definidas conjuntamente com a medição de VO_2 e FC podem fornecer dados que são de grande importância quer para o estudo do estado físico do atleta no momento da prova, quer para posterior monitorização e preparação de futuros treinos. (15) Durante a realização das provas de avaliação é necessário ter em conta várias variáveis, pelo que, deverá ser realizada previamente uma história clínica ao atleta, com o intuito de conseguir o máximo de informação que possa interferir com os dados obtidos no teste daquela atleta naquele preciso momento (dia e hora). Na interpretação dos gráficos de VO_2 durante uma prova é importante definir a que intensidade está o atleta a executar o movimento. Podemos

citar que existem várias zonas de intensidade e que vão ter implicações diferentes na construção dos gráficos e consequentemente na forma como os cientistas desportivos vão interpretar os dados. (23)

Intensidade Moderada

É importante realçar que o exercício num teste ergométrico pode ser efetuado a uma intensidade moderada onde o atleta é capaz de executar na sua plenitude a sua tarefa, sendo que o volume máximo de oxigénio a esta intensidade é normalmente conseguida, com o surgimento de plateau, aproximadamente 2-3 minutos após o início do teste. Durante a realização deste tipo de exercício a esta intensidade, o valor de lactato encontra-se abaixo do limiar anaeróbio, ou seja o indivíduo está predominantemente a usar a via energética aeróbia como fonte de energia. (22,23)

Intensidade Alta

Quando o atleta é exposto a esta zona de intensidade, constatamos que o plateau do volume máximo de oxigénio é apenas atingido 10-15 minutos após o início do exercício. A este facto associam-se valores de lactato que se situam entre o limiar anaeróbio e o *turnpoint* do lactato. Posto isto, podemos dizer que atletas que se exercitam a alta intensidade têm um atraso na formação de um plateau de VO_2 máx., o que significa que o atleta encontra-se a desempenhar funções aeróbia e adicionalmente ocorre um aumento das necessidades da via anaeróbia láctica. Esta relação, curva lenta do VO_2 e atraso do plateau informa ao atleta e ao treinador que àquela intensidade do exercício pode existir um *deficit* em relação ao custo metabólico. (22,23)

Intensidade Muito Alta

Em relação ao VO_2 em atletas expostos a um nível de intensidade muito alta podemos afirmar que a curva de crescimento lenta de VO_2 permanece contínua ao longo do tempo, sem que o atleta consiga atingir um verdadeiro plateau, no que diz respeito aos valores de lactato. É importante salientar que existe uma subida mais prematura e que perdura no espaço temporal, sendo que os valores atingidos tendem a ser mais elevados, ultrapassando o *turnpoint* de lactato. Este tipo de intensidade a que o indivíduo é exposto exige vias energética predominantemente diferentes das citadas anteriormente sendo que existe um domínio da via anaeróbia láctica e eventualmente a via anaeróbia aláctica, sendo que o tempo a que o indivíduo está exposto a este tipo de intensidade é claramente inferior as outras intensidades de teste. (22,23)

3.8 Componente Lenta da Curva de Crescimento VO_2

Após ser feita a caracterização do exercício a diferentes intensidades, foi descrito algo que tem particular interesse na interpretação dos dados acerca do uso do VO_2 na avaliação dos atletas numa determinada intensidade. O crescimento lento da curva de VO_2 é um dado fundamental na monitorização e preparação do atleta para os treinos/competições.(18,19,,22) Esta medida pretende estabelecer a eficiência a que o corpo de cada atleta utiliza o oxigénio para um determinado nível de intensidade. O aumento lento do VO_2 e a sua estabilização após 10-15 minutos do início do exercício indica que o individuo está exposto a uma intensidade à qual podemos classificar como sub-máxima, sendo que o processo de fadiga é iniciado nesta fase.(24-27)

Tendo em conta ao que foi descrito anteriormente os cientistas desportivos devem adotar um conjunto de estratégias que promovam a redução/atenuação da curva de crescimento de um atleta a uma determinada intensidade. A maneira mais eficaz de promover essa redução será adotar treinos que promovam a melhora da capacidade aeróbia. Desta forma, exercícios que antes eram considerados de alta intensidade podem no futuro diminuir o seu custo metabólico e virem a ser considerados exercícios de intensidade moderada, fazendo com que haja plateua de VO_2 e diminuição dos valores de limiar anaeróbio e de *turnpoint* do lactato.

Conclusão

Com realização desta revisão foi possível entender que a ergoespirometria além de identificar e estratificar o risco de isquemia do miocárdio, também avalia a capacidade cardiopulmonar de cada indivíduo. É uma ferramenta bastante útil que pode ser usada no controlo e prescrição de treino para atletas de alta competições ou recreativos.

Para uma correta execução e avaliação do teste deve existir um conjunto de protocolos que reúnam diretrizes que estejam em conformidade com a comunidade científica de forma obter dados mais próximos aos valores reais. A execução do mesmo protocolo tem um papel importante no registo, análise e comparação dos dados visto que simulam as mesmas condições para diferentes participantes na prova.

No que diz respeito ao exercício é muito pouco comum os atletas praticarem modalidades onde haja um aumento gradual e linear da intensidade do exercício. Normalmente a atividade física sofre variações bruscas de alta intensidade seguida por períodos de baixa intensidade ou até mesmo repouso. Neste sentido é fulcral ter em atenção durante a avaliação dos atletas, o tipo de exigência física a que o sujeito está exposto. Seria desadequado elaborar um teste em que as características do sujeito não se enquadram no tipo de exigência física à qual está exposto nos treinos/competições na sua modalidade desportiva.

Determinar e melhorar a performance dos Atletas é um dos maiores desafios que os preparadores físicos, fisiologistas e médicos têm enfrentado ao longo das últimas décadas. Existem variáveis, tais como o Volume de Oxigénio e o Limiar Anaeróbio, que nos auxiliam a obter uma resposta mais precisa e fiável no que diz respeito à performance dos indivíduos. O volume máximo de oxigénio é uma das principais medidas usadas na avaliação da resistência aeróbia. No entanto, nos últimos anos existem outros indicadores que têm sido adicionados com intuito de ter variáveis mais precisas para a avaliação da resistência aeróbia. Entre essas variáveis estão o limiar ventilatório e o limiar de lactato.

O facto de o limiar de ventilatorio poder aumentar, sem haver mudança de $VO_{2m\acute{a}x}$ e que os indivíduos com o mesmo $VO_{2m\acute{a}x}$ não sustentam mesma duração do esforço, demonstra a maior eficiência do limiar ventilatorio para controlo e monitorização do treino.

Agradecimentos

A realização da presente dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grato. Assim, quero expressar os meus agradecimentos:

- Ao orientador desta dissertação, o Professor Doutor João Páscoa Pinheiro e ao co orientador Professor Doutor João Branco, pela orientação prestada, pelo incentivo, disponibilidade e apoio que sempre demonstraram. Aqui lhes exprimo a minha gratidão.
- À minha família, em especial aos meus pais e irmãos, por todo o apoio e pela constante presença em todas as etapas da minha formação académica e pessoal.
- A todos os amigos e colegas que me acompanharam ao longo do meu percurso.
- A todas as pessoas que me motivaram e inspiraram ao longo destes anos.

Enfim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou de outro, tornaram possível a realização da presente dissertação. A todos o meu sincero e profundo Muito Obrigado!

Bibliografia

1. Hollmann W, Prinz JP. Ergospirometry and its history. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.). 1997 Feb;23(2):93-105. DOI: 10.2165/00007256-199723020-00003.
2. Albouaini, K., Egred, M., Alahmar, A., & Wright, D. J. (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgraduate medical journal*, 83(985), 675–682. <https://doi.org/10.1136/hrt.2007.121558>
3. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, Coke LA, Fleg JL, Forman DE, Gerber TC, Gulati M, Madan K, Rhodes J, Thompson PD, Williams MA; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology, Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, and Council on Epidemiology and Prevention. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2013 Aug 20;128(8):873-934. doi: 10.1161/CIR.0b013e31829b5b44. Epub 2013 Jul 22. PMID: 23877260.
4. Paulo, Yazbek & Carvalho, Ricardo & Sabbag, Livia & Battistella, Linamara. (1998). Ergoespirometria. Teste de Esforço Cardiopulmonar, Metodologia e Interpretação. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 71. 10.1590/S0066-782X1998001100014.
5. Herdy, A. H., Ritt, L. E., Stein, R., Araújo, C. G., Milani, M., Meneghelo, R. S., Ferraz, A. S., Hossri, C., Almeida, A. E., Fernandes-Silva, M. M., & Serra, S. M. (2016). Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 107(5), 467–481. <https://doi.org/10.5935/abc.20160171>
6. Pina IL, Balady GJ, Hanson P, Labovitz AJ, Madonna DW, Myers J. Guidelines for clinical exercise testing laboratories. A statement for healthcare professionals from the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation, American Heart Association. *Circulation*. 1995 Feb 1;91(3):912-21. doi: 10.1161/01.cir.91.3.912. PMID: 7828326.
7. Sarma S, Levine BD. Beyond the Bruce Protocol: Advanced Exercise Testing for the Sports Cardiologist. *Cardiol Clin*. 2016 Nov;34(4):603-608. doi: 10.1016/j.ccl.2016.06.009. Epub 2016 Aug 27. PMID: 27692228.
8. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J*. 1973 Apr;85(4):546-62. doi: 10.1016/0002-8703(73)90502-4. PMID: 4632004.
9. Soares, José & Rebelo, António. (2013). Fisiologia do treinamento no alto desempenho do atleta de futebol. *Revista USP*. 91. 10.11606/issn.2316-9036.v0i99p91-106.
10. Jens Bangsbo. (2014). Physiological Demands of Football. *Sports Science Exchange* (2014) vol.27, No 125, 1-6.

11. Moraes, Renato & Lucena, Rogério. *Metabolismos, Aeróbio e Anaeróbio e as Posições Táticas no Futebol*. Universidade do Ribeirão Preto – UNAERP, Campus Guarujá.
12. Bloomfield, Jonathan & Polman, Remco & O'Donoghue, Peter. (2007). Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer. *Journal of sports science & medicine*. 6. 63-70.
13. Garber, Carol & Blissmer, Bryan & Deschenes, Michael & Franklin, Barry & Lamonte, Michael & Lee, I-Min & Nieman, David & Swain, David. (2011). Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. *Medicine and science in sports and exercise*. 43. 1334-59. 10.1249/MSS.0b013e318213fefb.
14. Cerezuela Espejo, Víctor & Courel Ibáñez, Javier & Morán-Navarro, Ricardo & Martínez Cava, Alejandro & Pallarés, Jesús. (2018). The Relationship Between Lactate and Ventilatory Thresholds in Runners: Validity and Reliability of Exercise Test Performance Parameters. *Frontiers in Physiology*. 9. 10.3389/fphys.2018.01320.
15. Domínguez R, Maté-Muñoz JL, Serra-Paya N, Garnacho-Castaño MV. Lactate Threshold as a Measure of Aerobic Metabolism in Resistance Exercise. *Int J Sports Med*. 2018 Feb;39(3):163-172. doi: 10.1055/s-0043-122740. Epub 2017 Dec 28. PMID: 29284165.
16. Hall MM, Rajasekaran S, Thomsen TW, Peterson AR. Lactate: Friend or Foe. *PM R*. 2016 Mar;8(3 Suppl):S8-S15. doi: 10.1016/j.pmrj.2015.10.018. PMID: 26972271.
17. Heuberger JAAC, Gal P, Stuurman FE, de Muinck Keizer WAS, Mejia Miranda Y, Cohen AF. Repeatability and predictive value of lactate threshold concepts in endurance sports. *PLoS One*. 2018 Nov 14;13(11):e0206846. doi: 10.1371/journal.pone.0206846. PMID: 30427900; PMCID: PMC6235347.
18. Azevedo, Paulo & Garcia, A. & Duarte, J.M.P. & Rissato, G.M. & Carrara, V.K.P. & Marson, Runer. (2009). Limiar Anaeróbio e Bioenergética: Uma abordagem didática. *Rev Educ Fís/UEM*. 20. 453-464.
19. Nakamura, Fabio & Hirai, Daniel & Roseguini, Bruno & Silva, Bruno & Brunetto, Bruna & Brunetto, Antônio. (2006). Objetividade da medida do limiar ventilatório. *Lecturas: Educación física y deportes*, ISSN 1514-3465, Nº. 93, 2006.
20. Silva, Paulo Roberto Santos, Andrade, Adilson, Riça, Wilson Oliveira, Visconti, Ana Maria, Ponte, Fernando Miele da, Rosa, Albertina Fontana, Costa, Solange Basílio da, Roxo, Carla Dal Maso Nunes, Machado, Gilberto Silva, & Sousa, Jorge Mendes de. (1999). Perfil de limiares ventilatórios durante o exercício e o consumo de oxigênio de pico verificado em jogadoras de futebol. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 5(4), 132-137. <https://doi.org/10.1590/S1517-86921999000400003>

21. Perez, Anselmo & Sauer, Deborah & Carletti, Luciana & Monteiro, Wallace. (2014). Efeito de três periodizações do treinamento aeróbio sobre o limiar ventilatório. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 36. 663-670. 10.1590/2179-325520143630010.
22. Burnley, Mark & Jones, Andrew. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*.
23. Jones, A. M., & Doust, J. H. (1998). The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(8), 1304–1313.
24. Billat, Veronique. (2000). VO₂ slow component and performance in endurance sports. *British journal of sports medicine*. 34. 83-5. 10.1136/bjism.34.2.83.
25. Jones, Andrew & Grassi, Bruno & Christensen, Peter & Krustrup, Peter & Bangsbo, Jens & Poole, David. (2011). Slow component of $\dot{V}O_2$ kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Medicine and science in sports and exercise*.
26. Garnacho-Castaño MV, Albesa-Albiol L, Serra-Payá N, Gomis Bataller M, Felú-Ruano R, Guirao Cano L, Pleguezuelos Cobo E, Maté-Muñoz JL. The Slow Component of Oxygen Uptake and Efficiency in Resistance Exercises: A Comparison With Endurance Exercises. *Front Physiol*. 2019 Mar 28;10:357. doi: 10.3389/fphys.2019.00357. PMID: 31019469; PMCID: PMC6458438.
27. Colosio AL, Caen K, Bourgois JG, Boone J, Pogliaghi S. Bioenergetics of the VO₂ slow component between exercise intensity domains. *Pflugers Arch*. 2020 Oct;472(10):1447-1456. doi: 10.1007/s00424-020-02437-7. Epub 2020 Jul 14. PMID: 32666276; PMCID: PMC7476983.