

Standart Askeri Yüklerin Askerlerin Görev Performansı Üzerindeki Etkilerini Belirlemek için Kullanılan Biyomekanik Test Yöntemleri

Çağlar BETGÜL¹, Mustafa ÜNAL^{1,2,3*}

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 70100, Karaman

²Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 70100, Karaman

³Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Bölümü, 70100, Karaman

¹<https://orcid.org/0000-0003-3827-8107>

^{2,3}<https://orcid.org/0000-0002-9518-8952>

*Sorumlu yazar: mustafaunal@kmu.edu.tr

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 26.01.2023

Kabul tarihi: 07.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

Anahtar Kelimeler:

Biyomekanik

Askeri yükler

Performans göstergeleri

Yük taşıma

Egzersizler

ÖZ

Bu derleme makalesinin amacı, askerlerin alt uzuv kuvvetinin ve gücünün belirlenerek görev performansının tahmin edilmesine yönelik kullanılan biyomekanik testleri içeren çalışmalarını sistematik olarak değerlendirip paylaşmaktır. Elde edilen veriler, askerlerin alt uzuv kuvvetinin, yük taşıma kapasiteleri ve dayanıklılıklarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Mevcut biyomekanik testlerin daha çok statik olarak yapıldığı göz önüne alındığında, gelecekte bu testlerin belirli bir operasyon senaryosu altında dinamik ve gerçek zamanlı olarak daha da geliştirilmesi, askerlerin performansının anlık olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi hususunda daha güvenilir ve objektif verilerin elde edilmesi açısından faydalı olacaktır. Ayrıca bu testlerden elde edilen veriler ışığında standart askeri yükler yeniden tasarlanabilir ve askerlerin performansını artıracak daha verimli egzersizler belirlenebilir.

Biomechanical Testing Methods Used to Determine the Effects of Standard Military Loads on the Mission Performance of Soldiers

Reviews

Article History:

Received: 26.01.2023

Accepted: 07.09.2023

Published online: 22.01.2024

Keywords:

Biomechanics

Military loads

Performance indicators

Load carriage

Exercises

ABSTRACT

The purpose of this review article was to systematically evaluate and share the studies involving biomechanical tests used to predict mission performance by determining the lower-extremity strength and power of soldiers. The data obtained from such biomechanical tests showed that the lower-extremity strength of the soldiers was directly related to their load-bearing capacity and endurance. Considering that the current biomechanical tests are mostly performed statically, in the future, further development of these tests dynamically and simultaneously under a certain operation scenario would be useful in terms of obtaining more reliable and objective data for the instant monitoring and evaluation of the performance of the soldiers. Moreover, in the light of the data obtained from these tests, the standard military loads could be redesigned, and more efficient exercises could be determined that would eventually increase soldier's performance.

To Cite: Betgül Ç., Ünal M. Standart Askeri Yüklerin Askerlerin Görev Performansı Üzerindeki Etkilerini Belirlemek için Kullanılan Biyomekanik Test Yöntemleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 440-462.

1. Giriş

Tarihi süreç içerisinde, askerler yapılan operasyonun çeşitliğine göre devamlı çeşitli türde askeri yükler taşımışlardır. Bu yükler bireysel koruyucu donanımlar, savaş alet ve gereçleri ve gıda malzemelerinden meydana gelmektedir. Taşıma işleminin iklim ve doğa şartlarına göre zorluk derecesi değişmekle beraber, taşıma işlemi sırasında taşınan yükten dolayı; askerin yorgunlukla beraber hızının azalması, kas-iskelet ağrıların ortaya çıkması gibi çeşitli sorunlar meydana gelebilmektedir (Knapik ve ark., 2004; Knapik ve ark., 2010; Orr ve ark., 2014). Özellikle bu yüklerden dolayı ortaya çıkan genel sağlık problemleri profiline baktığımızda en fazla etkilenen vücut kısmının alt uzuv, yani bel altı bacak uzuvlarında ortaya çıkan yaralanmalar ve kas-iskelet sorunları olduğu görülmektedir (Knapik ve ark., 2004; Knapik ve ark., 2010; Orr ve ark., 2014). Bunlar başlangıçta yapılan operasyonun başarı durumunu yakından etkilemekle beraber, ilerleyen süreçlerde askerin vücudundaki kas-iskelet sisteminde kalıcı hasarlara sebep verebilir (Orr ve ark., 2014). 18. yüzyıla kadar askerler ortalama 15 kg yük taşıyorlardı (Orr, 2010). Önceki zamanlarda ekstra askeri ekipmanlar yani savaş sırasında kullanılan silahlar (örneğin kılıç, kalkan vb. ekipmanlar), yardımcı taşıyıcılar, atlar/katırlar, el arabaları ve kamp takipçileri gibi farklı şekillerde nakliyesi gerçekleşiyordu (Orr, 2010). Bulduğumuz zaman diliminde ise böyle bir nakliye, operasyon başarısında olumsuz sonuçlar doğurabileceği için 18 yüzyıldan itibaren askerler yüklerini kendileri taşımaya başlamışlardır (Orr, 2010).

Askerlerin zaruri yükleri taşıma işlemi, iklim ve doğa şartlarına göre farklı zorluk derecelerine sebep olur. Askerlerin bu standart yükleri taşınması özellikle bacak kuvveti ve gücüyle yakından ilişkilidir (Orr ve ark., 2019). Taşıma işlemi sırasında, maruz kalınan ekstra yükten dolayı askerlerde ayakların su toplaması, diz ağrıları ve bacak kemiği kırılması gibi çok çeşitli sağlık problemlerine (Knapik ve ark., 2004; Knapik ve ark., 2010; Orr ve ark., 2014; Andersen ve ark., 2016; Orr ve Pope, 2016) ve askeri görevin/operasyonun başarısız olması gibi istenilmeyen sorunlara sebep olabilir (De Maio ve ark., 2009; Brady ve ark., 2011; Carlton ve Orr, 2014; Billing ve ark., 2015). Bu tarz problemlerin önlenmesi için askerlerin belirli standart yük ve donanımlar ile verilen görevi yapabilme performansının özellikle alt uzuv kuvvet ve güç performanslarının biyomekanik açıdan analizi önem arz etmektedir. Bu sistematik derleme makalesinin amacı askerlerin standart olarak taşıdıkları yüklerin görev performansları üzerindeki etkilerini ölçen bilimsel çalışmaları biyomekanik bir bakış açısı ile incelemektir. Bu bağlamda, bu makale üç ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda askeri standart yükleri ve bunların kullanım amaçları hakkında özet bilgiler verilmektedir. İkinci kısımda, askerlerin performanslarının biyomekanik açıdan test edilmesi için kullanılan biyomekanik test metodları hakkında bilgilendirme sağlandıktan sonra üçüncü kısımda genel olarak biyomekanik testler sonucunda elde edilen veriler ile askerin görev performansları arasındaki ilişki değerlendirilmektedir. Son kısımda ise genel değerlendirme ve bu alanın geleceği hakkında önerilerde bulunmaktadır.

2. Standart Askeri Yükler

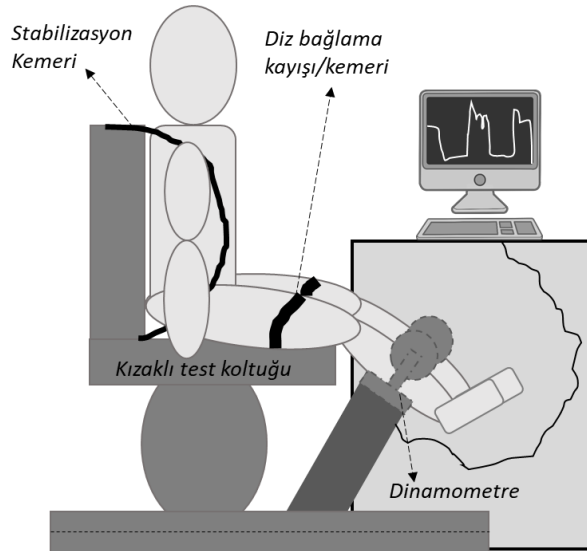
Standart askeri yükler, savaşta ve eğitimde gereken giysi ve taşınan her türlü ekipmanı içerir. Bireysel koruyucu ekipmanlar/donanımlar askeri yüklerin olmazsa olmaz parçalarıdır ve operasyon alanında meydana gelebilecek tehlikelerden en az hasarla kurtulmak için askeri personel bireysel koruyucu donanıma sahip olmak zorundadır. Askerler için bireysel koruyucu donanımlar, eğitim ve savaş ortamında sahip olunması gereken her türlü giysi ve teçhizatlarına hepsini birden içeren genel bir kavramdır. Çok farklı özelliklerde bireysel koruyucu donanım bulunmaktadır. Bu donanımları genel olarak şu şekilde sıralayabiliriz: kamuflaj, yelek, eldiven, kask, dizlik, dirseklik, bot, gözlük ve kulaklık. Koruyucu ekipmanlar askerleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelere karşı korumayı amaçlamaktadır. Tarihsel sürece baktığımızda yürütülen askeri operasyonların çeşitliliği ve karmaşıklığı, çoğunlukla askeri operasyona özel ekipmanların taşınmasını ve yürüyerek arazi ve iklim koşullarında uzun zamanlar hareket edilmesini gerektirir (Lewis ve ark., 2017). Askeri yükler hayatta kalmak ve operasyonun başarısı için çok önemlidir. Örneğin, teçhizatın çok fazla ve ağır olması arazide ve operasyon bölgesinde hayatta kalma mücadelesi sırasında bir risk kaynağı oluşturabilmektedir (Orr, 2010; Billing ve ark., 2015). Askeri yükleri ele alırken birkaç hususa dikkat etmek gerekir: Askerler tarafından taşınan yükler kuru yüklerdir. Fakat örneğin askerin giydiği bir palto ıslandığı takdirde kuru ağırlığının üç katına kadar çıkabilir (Orr, 2010). Bu çalışmada standart askeri yüklerin askerlerin görev performansları üzerine etkileri biyomekanik açıdan incelendiğinden, konunun daha iyi anlaşılması için özellikle performans üzerine olumsuz etki ortaya çıkarabilecek askeri yükler hakkında aşağıda kısa bilgiler verilmiştir.

Askerler tarafından kullanılan ekipmanlar hem askeri ne ölçüde koruduğu hem de hareketi ne ölçüde kısıtladığı hususunda önemli bir faktördür (Larsen ve ark., 2011; Brown ve ark., 2017; Hasselquist ve ark., 2018; Giles ve ark., 2019). Kamuflaj, personeli korumak ve düşmana karşı stratejik üstünlük sağlamak amacıyla ortaya çıkmıştır. Kamuflajlar hafif olması hem de yırtılmaya karşı mukavemetinin fazla olması nedeniyle genellikle örme polyester kumaştan üretilir (Risteski ve ark., 2017; Denning, 2018). Zırhlı yeleklerde önceleri zırh olarak çelik plakalar kullanılırken, zamanla çeliğe göre hem daha mukavemetli hem de çok daha hafif olan sentetik liften üretilen plakalar kullanılmaya başlanmıştır. Yelek ağırlıkları üzerindeki zırh türüne göre 1,1-13,6 kg arasında değişmektedir (Carr ve Lewis, 2014). Kask kafa bölgesine zarar verebilecek etkenlere karşı askeri korumak için kullanılmaktadır. Önceleri direkt olarak çelikten üretilen kasklar kullanılırken (Ivins ve ark., 2007; Kulkarni ve ark., 2013), günümüzde kasklar fiber kompozit, polietilen lifler, fenolik reçine gibi hafif ve sağlam malzemelerden üretilmektedir (Kulkarni ve ark., 2013). Askerin kafa hareketlerini kısıtlamaması açısından kask tasarımı önemli bir faktördür (Breeze ve ark., 2011; Kulkarni ve ark., 2013; Zwolińska ve ark., 2014). Botlar muharebe ortamında askerin giymesi için tasarlanmıştır. Günümüz askeri modern savaş botları, bulunulan ortama uygun, sağlam ve rahatlık sağlayacak şekilde üretilmektedir (Hamill ve Bense, 1996). Askerlerin kullandığı botlar, kullanılan malzeme ve mevsim farklılıklarında kullanım amaçlı çift olarak 1 ila 2 kg arasında değişmektedir. Askerin performansını yakından

etkileyen bir diğer unsur ise taşıdığı çanta ve yükleridir. Askerlerin taşıdığı toplam yüklerin mevsim şartları, operasyon süresi vb. etkenlere göre 80 kg'a kadar çıktığı bilinmektedir (Koerhuis ve ark., 2009; van Dijk, 2009). Yukarıda da bahsedildiği gibi, yük artışı askerin yavaşlaması, konforun eksilmesi ve çeşitli fizyolojik rahatsızlıklara sebep olmaktadır (Martin ve ark., 2020). Bu açıdan askerlerin bu standart askeri yükler altındaki görev performanslarını test etmek için çeşitli biyomekanik testler uygulanmaktadır.

3. Biyomekanik Test Yöntemleri

Askerlerin belirli yükler altında performanslarının incelenmesi için çeşitli alt uzuv (bacak) kuvvetini ve gücünü ölçmeye yönelik biyomekanik testler mevcuttur. Bu testler genel olarak üç başlık altında toplanabilir: İzometrik kas kuvveti ölçümü testleri, izokinetik kas kuvveti ölçüm testleri ve alt uzuv güç ölçümleri. Bu testlerin sonucunda elde edilen biyomekanik ölçümler genellikle: üretilen kuvvet (Newton), kaldırılan maksimum yük miktarı (kilogram), elde edilen mesafe veya yükseklik (uzunluk ölçümleri) ve gerçekleştirilen toplam iş veya güç (watt)' tür. Bu testler askerlerde genellikle farklı yük taşıma sırasında ya da belirlenen askeri görevler öncesinde ya da sonrasında yapılır. Bu görevler genel olarak yüklü yürüyüşler, bir nesne taşıma ve yük taşıma sırasında görev performans ölçümleri şeklinde üç ana kategoriye ayrılır.



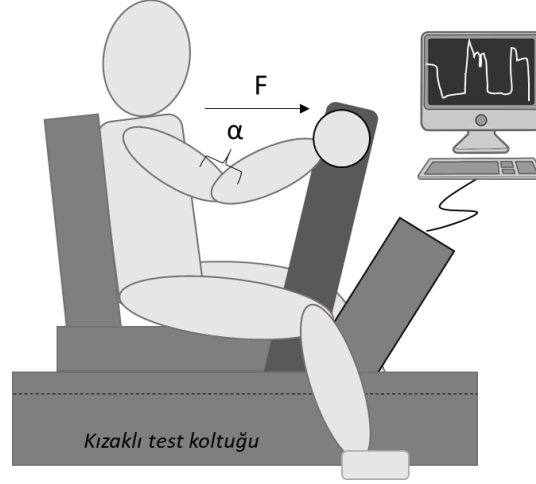
Şekil 1. İzometrik kas kuvveti ölçümü yapmak için kullanılan standart bir biyomekanik test cihazının şematik çizimi.

3.1. İzometrik Kas Kuvveti Ölçüm Testleri

İzometrik test, kas dokusunun statik kuvvetinin maksimum potansiyelini ölçmek için kullanılan bir biyomekanik test türüdür. İzometrik testte, eklem açısında herhangi bir görünür oranda değişim olmaksızın bir kas dokusunun kasılması sonucu ortaya çıkan statik kuvvetin ölçülmesi esastır (Danneskiold Samsøe ve ark., 2009). "İzometrik" terimi, Yunanca "isos" (eşit) ve "metria" (ölçme) kelimelerini birleşmesi sonucu ortaya çıkmıştır, yani bu testlerde kasın uzunluğu ve eklem açısı

değişmez, ancak ölçülmek istenilen kas dokusunun kasılma kuvveti değişebilir. Bu test genel olarak bacak, kol, sırt ve el kavrama kuvvetinin tensiyometre (gerilim ölçer) ve/veya dinamometre (kuvvet ölçer) (Şekil 1) ile ölçülmesi prensibine dayanır (Bäckman ve ark., 1995). Şekil 1’de gösterildiği gibi bu cihaz genellikle bir dinamometre, kızaklı test koltuğu, diz bağlantı kayışı/kemeri ve ayrıca göğüs, bel, uyluk ve kaval kemiği stabilizasyon kemeri/kayışlarını içerir. İzometrik testler, genel olarak askerlerin performansını yakından etkileyebilecek olan bacak kaslarının, çoğunlukla sandalyeye dik oturma pozisyonunda (Şekil 1) ve/veya sırt üstü pozisyonunda dizin ekstansiyon ve fleksiyon ve ayak bileğinin plantar fleksiyon hareketi sırasında ortaya çıkan statik kas kuvvetini ölçmek için kullanılır (Orr ve ark., 2019).

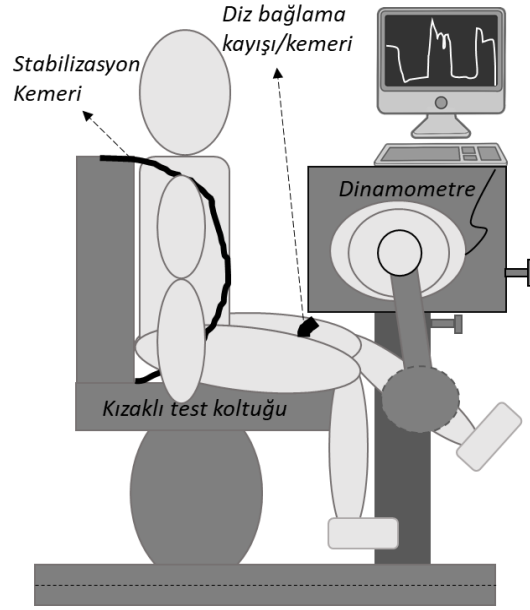
Bu kapsamda önceki yıllarda yapılmış sınırlı sayıdaki çalışmalar göz önüne alındığında, bu ölçümlerin eklemlerin hareket aralığı da göz önüne alınarak, genellikle oturur pozisyonunda (Şekil 1) ya da sırt üstü pozisyonunda ve izin verilebilir farklı eklem açıları ile yapıldığı görülmektedir. Örneğin, geçmişte yapılan çalışmalarda 120° ila 130° diz açıları ile dizin ekstansiyonu sırasında kas dokusunun izometrik kuvveti özel tasarlanmış dinamometre cihazları ile ölçülmüştür (Knapik ve ark., 1990; Koerhuis ve ark., 2009). Yine ayak bileğinin plantar fleksiyon sırasındaki statik kas kuvveti ölçümleri 120 ° eklem açısı (Knapik ve ark., 1990) ve dik oturur pozisyonunda 80 ° diz açısı ve 90° ayak bileği açısı iken ölçülmüştür (Rayson ve ark., 2000). Yine literatürdeki sınırlı sayıdaki çalışmalar göz önüne alındığında, izometrik statik kas kuvveti ölçümü, askerlerde kol ve el kavrama kuvvetinin ölçülmesi içinde kullanılmaktadır. Örneğin, kol ekstansiyonu sırasındaki statik kol kası kuvveti, askerlerin sırtı dikey bir plakaya karşı ve eller gövdenin önünde omuz hizasında ve dirsek açıları 160° iken (Şekil 2), elleri ile vücutlarının önlerinde bulunan bir çubuğa bastırarak, kollarını uzatmaya çalışması sırasında ölçülmüştür (Koerhuis ve ark., 2009). Şekil 2’de gösterildiği gibi bu testte, statik kol kası kuvvet, sırt dikey bir plakaya karşı ve eller gövdenin önünde omuz hizasında ve belli bir dirsek açısında (α) iken, eller ile önlerinde bulunan bir çubuğa bastırarak, kolların uzatılmaya çalışması sırasında ölçülür. Kol fleksiyonu sırasındaki kas kuvveti ise, kol gövdeye paralel ve direk açısı 90° olacak şekilde ön tarafa dönük iken, kolu fleksiyona getirmek için maksimum kuvvet çabası olarak ölçülmüştür (Koerhuis ve ark., 2009). Askerlerin el kavrama kuvveti ise, silah kabzası şeklindeki özel dinamometre cihazlarının, komut üzerine olabildiğince sıkı bir şekilde tutulması yardımıyla ölçülmüştür (Knapik ve ark., 1990).



Şekil 2. Kol kası kuvvetlerini ölçmek için kullanılan bir biyomekanik test ekipmanı örneğinin şematik çizimi.

3.2. İzokinetik Kas Kuvveti Ölçüm Testleri

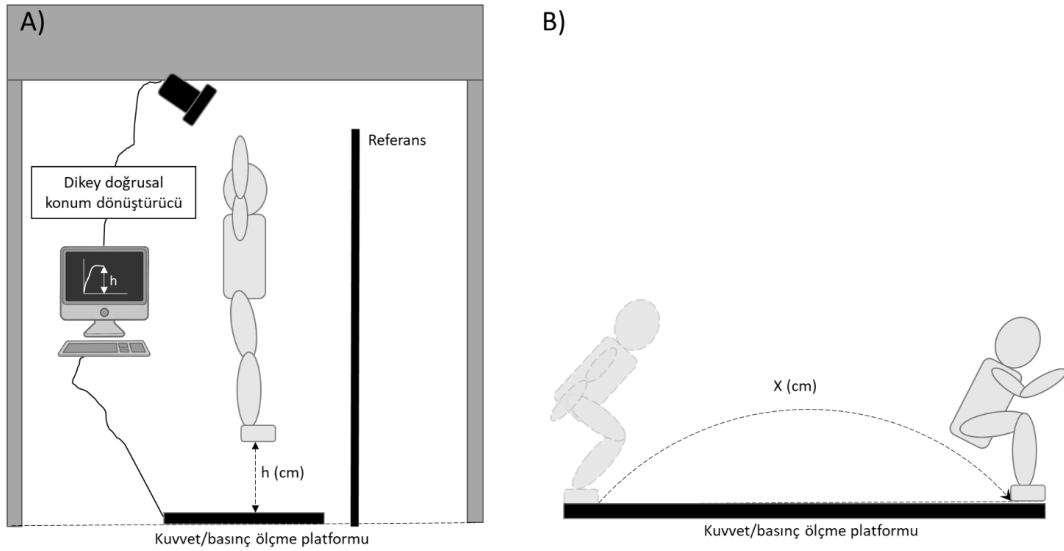
İzokinetik testte, özel bir dinamik dinamometre cihazı ile (Şekil 3) eklemin önceden belirlenen sabit açısal hızla hareketi sırasında uygulanan eklem momentini ölçerek, dinamik kas gücünün ve genel olarak kas fonksiyonunun değerlendirilmesi esastır (Baltzopoulos ve Brodie, 1989). Şekil 3’de gösterildiği gibi bu cihaz genellikle bir dinamik dinamometre, kızaklı test koltuğu, diz bağlantı kayışı/kemer ve ayrıca göğüs, bel, uyluk ve kaval kemiği stabilizasyon kemeri/kayışlarını içerir. İzokinetik testler, genellikle eklemlerin hareket aralığı (EHA) boyunca uygun direnç uygulanarak, sabit hızda bacak, omuz, kol, kalça, diz, ayak bileği gibi insanın farklı vücut bölümlerindeki kaslarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Sole ve ark., 2007). Bu test sonucunda maksimum tork ve oluştuğu açı, herhangi bir EHA açısındaki tork ve kasılmanın ortalama gücü gibi kasın performansını ve kuvvetini belirleyen veriler elde edilir (Danneskiold Samsøe ve ark., 2009). Literatürdeki geçmiş yıllarda yapılan araştırmalar göz önüne alındığında; bu biyomekanik testin askerlerin izokinetik olarak diz ekstansiyonu, diz fleksiyonu, plantar fleksiyon, kalça eklemi ekstansiyonu ve kalça eklemi fleksiyonu sırasındaki kas performanslarını ve kuvvetini ölçmek için kullanıldığı görülmüştür. Bu ölçümlerin tam olarak hangi EHA’ da yapıldığı belirtilmemiş olsa da bu biyomekanik testin genellikle 30, 60, 90, 180 ve 300 derece/saniye gibi farklı sabit açısal hızlarda gerçekleştirildiği görülmüştür (Dziados ve ark., 1987; Mello ve ark., 1988; Knapik ve ark., 1990; Simpson ve ark., 2006).



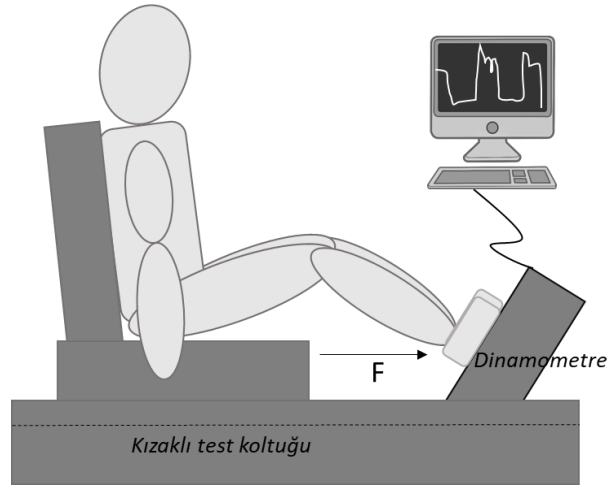
Şekil 3. Bacak izokinetik kas kuvvetini ölçmek için kullanılan bir izokinetik dinamik dinamometre test cihazının şematik çizimi.

3.3. Diğer Biyomekanik Ölçümler

Askerlerin performansının biyomekanik olarak ölçülmesi sırasında kullanılan diğer testler ise, alt uzuv gücü ölçümü ve izotonik bileşik hareketler (çoklu eklem) veya izole edilmiş tek eklem hareketlerinin değerlendirilmesidir. Şekil 4'te gösterildiği gibi dikey atlama biyomekanik test tasarımında doğrusal bir konum dönüştürücü (LPT) yardımıyla dikey atlama mesafesi ölçülmektedir. Aynı zamanda platformlarla bütünleşik bulunan kuvvet/basınç ölçme platformları ile de dikey ve yatay atlama sırasındaki iş ve güç ölçümleri de yapılabilir. Askerlerde alt uzuv gücünün ölçümü, genellikle dikey (Şekil 4a) ya da yatay ileri (Şekil 4b) sıçramanın bir varyasyonu şeklinde yapılmaktadır (Beckett ve Hodgdon, 1987; Fallowfield ve ark., 2012; Mala ve ark., 2015). Her ne kadar bu sıçramaların teknikleri arasında bazı farklılıklar söz konusu olsa da bu testler sonucunda elde edilen veriler genellikle maksimum dikey veya yatay yer değiştirme miktarlarıdır. Bu testlerde temel olarak yer değiştirme miktarları hesaplanmakla beraber dikey ya da yatay sıçrama sırasında yapılan iş ve güç özel bir kuvvet/basınç ölçme platformu yardımıyla veyahut çeşitli verileri kullanarak (örneğin, vücut kütlesi, atlama yüksekliği, genişliği ve atlama süresi) hesaplanabilmektedir (Şekil 4) (Beckett ve Hodgdon, 1987; Fallowfield ve ark., 2012; Mala ve ark., 2015). Literatürdeki sınırlı sayıda çalışma göz önüne alındığında, dikey ya da yatay ileri sıçramanın (Şekil 4) standart bir şekilde yapılmadığı ve farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, askerlerin bileşik hareketler değerlendirilmesi tek tekrarlı maksimum çömelme ve bacak baskısı/presi ölçümü şeklinde yapılırken (Şekil 5), izole tek eklem hareketi değerlendirilmesinin bacak ekstansiyonu ölçümü şeklinde yapılmıştır (Knapik ve ark., 1996). Şekil 5'te gösterildiği gibi bu testte, statik bacak presi, sırt dikey bir plakaya karşı ve eller yanlarda iken, bacaklar ile önlerinde bulunan pedallara bastırarak, bacakların uzatılmaya çalışması sırasında ölçülür.



Şekil 4. Örnek bir a) dikey atlama ve b) yatay atlama performans test kurulumunun şematik çizimi.



Şekil 5. Örnek bir izometrik bacak presi test düzeneğinin şematik çizimi.

4. Askeri Performans Analizlerin Biyomekanik Veriler ile Sistematik Olarak İncelenmesi

Sistemik derleme makalesi metodolojisine uygun olarak, Web of Knowledge, PubMed, Google Scholar ve SCOPUS gibi veri tabanlarına İngilizce olarak ‘Askeri personel’, ‘Asker’, ‘Yük taşıma’, ‘Askeri operasyon’, ‘Askeri eğitim’, ‘Güç’, ‘Kuvvet’, ‘Dayanım’, ‘Biyomekanik’, ‘Performans’, ‘Test’ gibi anahtar kelimeler tek tek veya farklı kombinasyonlar ile birleşik olarak yazılarak ve herhangi bir zaman kriteri uygulanmayarak başlangıçta bu konu üzerine 700’den fazla potansiyel makale ve başka türde bilimsel yayınlar elde edilmiştir. Bu makale ve yayınlardan sadece aşağıdaki kriterleri sağlayanlar göz önüne alınmıştır: 1- Çalışmalarda mutlaka askeri personelin ya da askeri öğrencinin kullanılması; 2- Bacak gücü ve/veya kuvvetini ölçen herhangi bir biyomekanik testin uygulanmış olması; 3- Biyomekanik ölçümlerin yanı sıra katılımcıların yük taşıyarak önceden belirlenmiş bir görevi yerine getirmesi ve 4- katılımcılardan elde edilen biyomekanik verilerinin onların görev performansları ile ilişkilendirilmiş olmasıdır. Elde edilen 700’den fazla makale bu kriterlere göre incelenip, yinelenen ve kriterlere uygun olmayan makalelerin çıkarılmasından sonra

toplamda 14 adet çalışma bu makalenin amacı doğrultusunda tüm dâhil edilme kriterlerini sağladı. Belirlenen tüm uygun tam metin makaleler daha sonra detaylı bir şekilde okunarak ve gözden geçirilerek bu sistematik derleme makalesi için kullanıldı.

Kapsamlı literatür taraması sonucunda, askerlerin bazı önceden belirlenmiş görevleri yapabilmeye performansları ile yukarıda bahsedilen biyomekanik testler sonucu elde edilmiş kuvvet, güç ve dayanım verilerinin ilişkilendirildiği 1985-2022 yılları arasında yayınlanmış toplamda 14 adet çalışma olduğu belirlenmiş ve bu çalışmalar ile ilgili temel bilgiler Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu çalışmalar içerisinde askerlerin yukarıda bahsettiğimiz biyomekanik testler neticesinde elde edilen alt uzuv (bel altı/bacak) dayanımı, kuvveti, gücü veya kaldırılan maksimum yük miktarı, sıçrama sonrası elde edilen mesafe veya yükseklik ve gerçekleştirilen toplam iş veya güç gibi biyomekanik verileri ile önceden belirlenmiş görevleri yerine getirebilme performansları arasında bir ilişki olup olmadığı test edilmiştir.

Tablo 1. Askerlerin taşıdığı yüklerin görev performansı üzerine etkilerini araştıran ve biyomekanik test ve analiz verilerini içeren bugüne kadar yayınlanmış bilimsel araştırmaların temel içerikleri.

Çalışmayı Yürütenler ve Yayınlanma Yılı	Katılımcılar	Uygulanan Biyomekanik Testi	Askeri Görev Performans Testi
Martin ve Nelson (1985)	16 erkek ve 14 kadın askeri öğrenci	Dikey sıçrama testi	Farklı ağırlıktaki yükler ile yürüme testi
Beckett ve Hodgdon (1987)	102 donanma personeli: 64 erkek ve 38 kadın	İzometrik biyomekanik testi	Farklı ağırlıktaki yükler ile koşu testi
Dziados ve ark., (1987)	49 piyade askeri	İzokinetik biyomekanik testi	Yüklü yürüyüş testi
Marcinik ve ark., (1987)	72 erkek askeri donanma personeli	İzokinetik biyomekanik testi ve maksimum bacak presi testi	Yük taşıma ve bileşik görev bitirme süresi testi
Mello ve ark., (1988)	28 Askeri personel	İzotonik biyomekanik testi	Farklı ağırlıktaki yükler ile yürüme testi
Knapik ve ark., (1990)	96 piyade askeri personel	İzometrik biyomekanik testi	Yüklü yürüyüş testi
Hackney ve ark., (1991)	62 deniz piyade askeri personel	Wingate/Ergonometre maksimum efor testi	Soğuk (karlı) veya soğuk olmayan bir ortamda yüklü yürüyüş testi
Knapik ve ark., (1991)	89 piyade askeri personel	Dikey sıçrama testi	Yüklü yürüyüş testi
Rayson ve ark., (2000)	304 erkek ve 75 kadın askeri personel	İzometrik biyomekanik testi	Yüklü yürüyüş ve diğer belirlenen görevleri bitirime süresi testi
Simpson ve ark., (2006)	20 erkek asker personel	İzotonik biyomekanik testi	Yüklü yürüyüş testi

Koerhuis ve ark., (2009)	23 erkek muharebe askeri personel	İzometrik biyomekanik testi	Koşu bandı üzerinde yüklü yürüyüş testi
Fallowfield ve ark., (2012)	12 erkek deniz komandosu askeri personel	Dikey sıçrama ve hız testi	Yüklü dikey sıçrama testi
Hunt ve ark., (2013)	104 özel kuvvetler askeri personeli	Aerobik hareket ve dikey atlama testi	Yüklü yürüyüş testi
Mala ve ark., (2015)	18 erkek askeri personel	Dikey sıçrama testi	Yük yaşama, yüklü koşu testi

Literatür taraması sonucunda bu anlamda önümüze çıkan ilk çalışma Martin ve Nelson (1985) tarafından yayınlanmış çalışmadır (Martin ve Nelson, 1985). Bu çalışmada 16 erkek ve 14 kadın olmak üzere toplamda 30 adet askeri okul öğrencisinin taşıdıkları 5 farklı yük miktarı ile farklı performans testleri arasındaki ilişki incelenmiştir (Martin ve Nelson, 1985). Bu performans testleri 25 yard (yaklaşık 22,86 metrelik) kısa mesafe koşusu, çeviklik koşusu (başlangıç çizgisinden ilk olarak 3,05 m uzaklıkta bulunan sonrasında 3,05 m aralıklarla yerleştirilmiş, 20 cm çapında dört dairesel engelden oluşmuştur), durarak uzun atlama, reaksiyon-hareket testi (katılımcıların bir yönlü ışık sinyaline sağa veya sola dönerek ve 4,6 m koşarak tepki verdikleri reaksiyon hareketi testiydi) ve son olarak merdiven tırmanışı testlerinden (katılımcıların ayakları dokuzuncu basamak seviyesine veya 3,05 m seviyesine ulaşana kadar her bir basamağı arasında 30,5 cm mesafe olan dikey bir merdivene tırmanma) oluşmuştu. Bu askeri öğrencilerin ekstra olarak taşıdıkları yükler erkekler için 0,77 kg'dan 36,73 kg'a kadar, kadınlar için ise 0,59 kg'dan, 36,09 kg'a kadar artan şekilde birbirinden ayrı olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1). Bu çalışmanın sonucunda, genel olarak yapılan performans testleri sonuçları her yük taşıma durumu için farklı bulunmuştur ve daha önemlisi genellikle yük taşıma miktarı arttıkça performans sonuçlarının doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir (Martin ve Nelson, 1985).

Literatürdeki katılımcı sayısı bakımından en kapsamlı ilk araştırma 1987 yılında yayınlanmıştır (Beckett ve Hodgdon, 1987). Bu çalışmaya 64 erkek ve 38 kadın olmak üzere toplam 102 deniz donanmasına bağlı askeri personel katılmıştır. Bu askerlere başlangıçta izometrik 76 kg kaldırma kuvveti tarama testi uygulanmıştır ve bu testi geçen adaylar çalışmaya dâhil edilmiştir. Bu katılımcıların görev performanslarını ölçmek için toplam 51,4 m gidiş-geliş mesafesi boyunca 34 kg ağırlığındaki kutuları 5 dakika boyunca taşıması istenmiştir, ardından 1 dakika dinlendirilen katılımcılara, ikinci kez aynı mesafe içinde kutuyu 5 dakika boyunca taşıması istenmiştir (Tablo 1). Bu iki turdaki sürede kat ettiği toplam mesafe ölçülüp sonrasında güç birimine çevrilmiştir. Diğer alt bacak kuvvetini ve gücünü biyomekanik olarak test etmek için bu katılımcılara durma pozisyonundan dikey ve ileri yatay atlama yaptırılarak elde edilen mesafeler kaydedilip, sonrasında güç birimine çevrilmiştir. Çalışmanın sonucunda katılımcıların kutu taşıma performansları ile onların dikey ve ileri

yatay atlama mesafe ve güçleri arasında pozitif korelasyon olduğu bulunmuştur (Beckett ve Hodgdon, 1987).

Aynı yıl yayınlanan başka bir çalışmada ortalama yaşı 21,8 olan 49 piyade askerinin alt uzuv kuvvet ve gücü ile görev performansı arasındaki ilişki incelenmiştir (Dziados ve ark., 1987). Bu çalışmada askerlerin 10 mil (16 km) genellikle birkaç tepelik dışında düzgün bir asfalt yolda 18 ± 1 kg askeri yük ile yürüyüş görev performanslarının alt-bacak kuvveti ile ilişkileri incelenmiştir (Tablo 1). Askerler bu askeri yük ile yaptıkları yürüyüşü ortalama 2,4 saatte (1,72 ila 2,87 saat arasında) tamamlamıştır. Bu kapsamda öncelikle katılımcıların sağ bacaklarından (hamstring ve kuadriseps kaslarından) alt uzuv dinamik kuvveti 3 kez kasılma sırasında $60^\circ/s$, $180^\circ/s$ ve $300^\circ/s$ açısal hızlarındaki diz ekstansiyonunun ve diz fleksiyonunun izokinetik kuvveti ortalama tepe torku olarak bir dinamometre ile ölçülmüştür (Dziados ve ark., 1987). Bu çalışmanın sonucunda 16 km'lik yürüyüşü bitirme zamanı ile $60^\circ/s$, $180^\circ/s$ ve $300^\circ/s$ açısal hızlarında elde edilen tepe torkları arasında negatif korelasyon olduğu bulunmuştur (Dziados ve ark., 1987). Yani, alt uzuvdan elde edilen tepe torkunun fazla olduğu katılımcıların yürüyüşü daha erken bitirdikleri gözlemlenmiştir.

1987 yılında yayınlanan başka bir çalışmaya yaş ortalaması 19,5 olan deniz donanmasına bağlı 57 erkek askeri personel katılmıştır (Tablo 1) (Marcinik ve ark., 1987). Bunların askeri gemilerde sıklıkla yapılan üç görevi yapma performansları ile kol ve bacak kas kuvvetleri arasındaki ilişkileri incelenmiştir. 8 haftalık bir eğitimin ardından, katılımcıların dinamik kas kuvvetleri ölçülmüştür. Omuz ve kol gibi üst uzuv ölçümlerinin yanı sıra alt uzuvda bir tekrarlı maksimum bacak presi ve diz ekstansiyon kuvveti ölçümü yapılmıştır (Marcinik ve ark., 1987). Daha sonra, katılımcıların 1- çok bağlantılı su geçirmez kapıyı açma/kapama, 2- boya kovası taşıma ve 3- omuz sürüklenme tekniği ile yaralı personeli taşıma görevlerini belirlenen kurallara göre tamamlamaları istenmiştir. Ayrıntılı olarak katılımcılardan, filoda yaygın olarak kullanılan önceden belirlenmiş bir sırayı takip eden 8 bağlantılı bir su geçirmez kapının bağlantı parçalarını önce açmaları sonrada tekrar kapatmaları istenmiştir (Marcinik ve ark., 1987). İkinci görevde ise katılımcıların, eğimli bir merdivenden inip çıkmayı da içeren toplamda 45,7 metrelik bir parkurda 22,7 kg'lık bir kova taşımaları gerekmiştir (Marcinik ve ark., 1987). Üçüncü görevde ise katılımcılardan 75,4 kg'lık bir yapay mankeni su geçirmez bir kapının kenarından 12,8 metre mesafede omuzlarıyla sürüklemeleri istenmiştir (Marcinik ve ark., 1987). Katılımcıların tüm bu görevleri tamamlama süreleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda bu üç görevi bitirme sürelerinin toplamı birleşik görev performansı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yapılan regresyon analizleri ile katılımcıların bacak presi ölçümlerinin boya kovası taşıma, omuz sürüklenme tekniği ile yaralı personeli taşıma ve birleşik görev tamamlama sürelerini tahmin edebildiği gözlemlenmiştir ($R^2=0,313$ ila $0,552$ arasında, $p<0,05$) (Marcinik ve ark., 1987).

1988 yılında yapılan başka bir çalışmada ise yaş ortalaması 21,7 olan 28 asker katılmıştır (Tablo 1) (Mello ve ark., 1988). Bu çalışmada katılımcıların dominant bacaklarından diz fleksiyon (hamstring) ve diz ekstansiyon (kuadriseps) alt uzuv dinamik kuvvetleri dinamometre yardımıyla ölçülmüştür (Mello ve ark., 1988). Ölçümler yaklaşık 90° hareket aralığında $0,30$ ve $180^\circ/s$ açısal hızlarda 3 ardışık

maksimum kasılma sonrasında elde edilen tepe tork değerlerinin ortalaması şeklinde yapılmıştır. Ayrıca alt uzuv kas dayanıklılığı (hamstringler ve kuadriseps kaslarında) 180°/s açısal hızda 50 ardışık en fazla kasılmanın ortalama torku şeklinde ölçülmüştür (Mello ve ark., 1988). Askerlerin alt uzuv kuvvetleri ve dayanıklılıkları ölçüldükten sonra katılımcılardan her biri toplam 46 kg (28 kg sırtlarında ve 18 kg standart askeri koruyucu donanım yükü) yükü 2, 4, 8 ve 12 km olmak üzere dört farklı mesafede mümkün olan en hızlı şekilde taşınması istenmiştir (Mello ve ark., 1988). Sonuçta askerlerin 2 ve 4 km yük taşıma performansları ile alt uzuv kuvvetleri ve dayanıklılıkları arasında önemli bir korelasyon bulunamamasına rağmen, 8 ve 12 km'deki yük taşıma performansları ile alt- uzuv kuvvetleri ve dayanıklılıkları arasında önemli korelasyonlar gözlemlenmiştir (r değeri= -0,480 ila -0,608 arasında rapor edildi) (Mello ve ark., 1988). Sonuçlar katılımcıların alt uzuv kuvvetleri ve dayanıklılıkları artıça 8 ve 12 km'deki yük taşıma görevlerini daha kısa zamanda tamamladıklarını göstermiştir.

Literatürde gerek katılımcı sayısı gerekse uygulanan biyomekanik testler bakımından en kapsayıcı çalışmalardan biri Knapik ve ark., (1990) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmaya askerlik tecrübeleri 3 yıl ve altında, ortalama yaşı 21 olan toplam 96 erkek asker katılmıştır (Tablo 1), katılımcıların %65'e yakınının buldukları birimdeki görev süresi 6 aydan daha az olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada askerlerin ağır yük taşıma performansı ile çeşitli fizyolojik ölçümler (biyomekanik ölçümler de dâhil) arasındaki ilişki incelenmiştir (Knapik ve ark., 1990). Bu kapsamda diğer fizyolojik ölçümlerin (örneğin, kilo, artımlı egzersiz sırasında ölçülen maksimum oksijen tüketimi oranı, duygusal mod durumu gibi) yanı sıra alt uzuv dinamik izometrik, izokinetik kuvvet ve dayanıklılık ölçümlerinde dâhil olmak üzere çeşitli biyomekanik ölçümler gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Yük taşıma görevi askerlerin toplam 46 kg yükü 20 km'lik bir parkurda olabildiğince hızlı taşınması şeklinde olmuştur (Knapik ve ark., 1990). Bu parkurun, ilk 10 kilometresinde çok az yükseklik değişikliği olduğu ve 2 km dışında parkurun tümü asfalt olduğu rapor edilmiştir (Tablo 1). 10 ila 15 km arasında parkurun asfalt olduğu ancak parkurda 15 metreye kadar yükseklik değişiklikleri olan inişli çıkışlı tepeler olduğu rapor edilmiştir. Parkurun son 5 km'sinin 1,5 km'si toprak yol olmak üzere çoğunlukla düz olduğu belirtilmiştir (Tablo 1). Sağ diz ekstansörünün (DE), diz fleksörünün (DF) ve ayak bileği plantar fleksörünün (PF) izometrik ve izokinetik kuvveti modifiye edilmiş bir dinamometre ile ölçülmüştür (Knapik ve ark., 1990). İzometrik kuvvet ölçümleri tüm hareket aralığında sırasıyla DE, DF ve PF için 120°, 160° ve 120° izometrik açılarında ölçülürken, izokinetik kuvvet ölçümleri 0,52 ve 3,14 radyan (rad) saniye hızlarında ölçülmüştür (Knapik ve ark., 1990). DE ve DF için her bir kasılma tipi için üç maksimum gönüllü çabadaki veriler kaydedilmiştir ve bu ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. PF için ise ilk fleksiyonun/daralmanın sonraki iki tanesinden önemli ölçüde daha düşük olduğu bulunduğu için son iki kasılmanın ortalaması kullanılmıştır (Knapik ve ark., 1990). Toplanan veriler tepe torku ve toplam iş olarak rapor edilmiştir. Bu çalışmada rapor edilen diğer bir biyomekanik ölçüm ise dikey sıçrama mesafesi olmuştur. Dikey sıçrama için denekler ayakları yerde ve vücutları bir ölçüm direğinin yanında durmuşlardır. 3 deneme sonrası en yüksek sıçrama/zıplama

mesafesi kayıt edilmiştir (Knapik ve ark., 1990). Son olarak, anaerobik bacak gücünü ölçmek için katılımcılara Wingate/Ergonometre anaerobik testi yapılmıştır. Bu teste katılımcıların 30 saniye boyunca ağırlıklarına göre (0,075 kg/kg vücut ağırlığı) volana uygulanan bir dirence karşı olabildiğince hızlı pedal çevirmesi istenmiştir (Knapik ve ark., 1990). Test sonucunda maksimum ve ortalama bacak güçleri kayıt altına alınmıştır. Bu çalışma sonucunda, alt uzuv izometrik ve izokinetik kuvveti ve wintage testinden elde edilen bacak gücü ölçümlerinin katılımcıların 46 kg'lık yükü 20 km'lik bir parkurda taşıma performansları ile yakından ilişkili olduğu bulunmuştur (r değeri=-0,18 ila -0,29 arasında rapor edilmiştir) (Knapik ve ark., 1990). Fakat dikey sıçrama ölçümü ile yük taşıma performansları arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli seviyeye ulaşmadığı rapor edilmiştir (r =-0,14) (Knapik ve ark., 1990). Yapılan biyomekanik ölçümler sonucu alt uzuv kuvveti (toplam tork ve toplam iş) ve bacak gücü fazla olan katılımcıların parkuru daha kısa sürede bitirdiği gözlemlenmiştir. 1991 yılında 21 yaş ortalamasına sahip 62 erkek donanma askeri ile gerçekleştirilen başka bir çalışmanın amacı toplam 20-25 kg'lık yükler ile gerçekleştirilen yürüyüşler, kaya tırmanışı ve piyade muharebe manevraları gibi askeri saha operasyon görevlerinin soğuk (karlı) veya soğuk olmayan bir ortamda 96-120 saat boyunca yapılması sonucu askerlerin alt uzuv kuvvet ve güç ölçümlerindeki değişimi incelemek olduğu ilgili çalışmada belirtilmiştir (Hackney ve ark., 1991). Askerlerin anaerobik bacak güç ölçümü wingate/ergonometre testi ile hem askeri görev öncesi hem de askeri görev sonrası ölçülmüştür. Bu test katılımcıların önce yaklaşık 30 W'ta 3 dakikalık bir ısınması ile başlayıp sonrasında $[0,095 \times \text{vücut ağırlığı (kg)}]$ şeklinde ayarlanan bir direnç ayarına karşı maksimum 30 s pedal çevirme şeklinde uygulanmıştır (Hackney ve ark., 1991). Sonrasında test yine ~ 30 W'da 3 ila 4 dakikalık bir soğuma periyodu ile bitirilmiştir. Bu testten elde edilen biyomekanik ölçümler şunlardır: 1- Mutlak 30 saniyelik ortalama güç (W), 2- Bağlı 30 saniyelik ortalama güç (W / kg vücut ağırlığı), 3- Mutlak 5 saniyelik tepe gücü (W), 4- Bağlı 5 saniyelik tepe gücü (W / kg vücut ağırlığı) ve 5- Yorgunluk indeksi (% = son 5 saniye güç çıkışı/ilk 5 saniye güç çıkışı X 100) (Hackney ve ark., 1991). Çalışma sonucunda elde edilen veriler askeri görevi tamamlama sonrası mutlak tepe gücünün hem soğuk hem de soğuk olmayan ortamlarda önemli ölçüde azaldığını gösterilmiştir (yaklaşık %4,5 oranında düşüş, $p < 0,01$) (Hackney ve ark., 1991). Aynı şekilde bağlı tepe gücünün, hem soğuk hem de soğuk olmayan gruplarda askeri görevi tamamlama sonrası önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir (soğuk ortamda %3,1 ve soğuk olmayan ortamda % 1,6 oranında azalmıştır, $p < 0,05$) (Hackney ve ark., 1991).

Knapik ve ark. (1991) tarafından 1990 yılında yapılan kapsamlı çalışmaya ek olarak 1991 yılında 21 yaş ortalamasına sahip 89 asker üzerinde yaptıkları çalışmanın bir kısmında, 46 kg'lık yükü 20 km taşıma görevinin askerlerinin alt uzuv gücü ile yakından ilişkili olan dikey sıçrama mesafesindeki değişim üzerindeki etkisini incelemişlerdir (Knapik ve ark., 1991). Bu bağlamda askerlerin hem görev hem de görev sonrası dikey sıçrama mesafeleri 3 deneme sonrası elde edilen en yüksek değer şeklinde rapor edilmiştir. Askeri yük taşıma görevi çoğunlukla düz yol içeren bir parkurda sırt çantası, üniforma, silah, kask ve yük taşıma ekipmanı dâhil toplamda yaklaşık 46 kg'lık yük taşımak şeklinde

gerçekleştirilmiştir (Knapik ve ark., 1991). Yürüyüş parkurunun her 5 km'lik kısmındaki kontrol noktalarında su ve yiyecek bulundurulmuştur ve katılımcıların parkuru en kısa sürede bitirmeleri istenmiştir. Araştırma sonucunda askerlerin görev öncesi ve görev sonrası dikey sıçrama mesafeleri arasında istatistiksel olarak bir fark gözlemlenmemiştir (45,7 cm ve 45,0 cm, $p = 0,307$) (Knapik ve ark., 1991).

2000 yılında Rayson ve ark., (2000) tarafından yayınlanan çalışma şu ana kadar literatürde en fazla katılımcıyla yapılmış olan çalışmadır. 23,5 yaş ortalamasına sahip 304 erkek ve 75 kadın askerin katıldığı bu çalışmada, katılımcıların önceden belirlenmiş dört farklı görevi yapma performansları ile çeşitli biyomekanik ölçümler (alt uzuvdan elde edilen ölçümler de dâhil olmak üzere) arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu kapsamda, üst uzuvdan elde edilen biyomekanik ölçümlerin yanı sıra aynı zamanda katılımcıların baskın bacaklarından diz açısı 80° ve ayak bileği açısı 90° olacak şekilde oturur pozisyonda iken izometrik plantar fleksiyon kuvveti ölçülmüştür (Rayson ve ark., 2000). Sonrasında katılımcılardan 1- 30 metrelik bir parkurda 20 kg su dolu bir plastik kabı 1,5 m/sn hızla mümkün olduğu kadar uzun süre taşınması, 2- 10, 22 ve 44 kg'lık kutuları 10 m alıp taşınmasını ve 1,45 m yüksekliğe yerleştirmesini, ardından kutuyu geri almasını ve yere yerleştirmek için başlangıç noktasına 10 m geri götürmesini gerektiren tekrarlı kaldırma ve taşıma görevini 6, 3 ve 1 sefer/dakika hızında yapması ve 3- Sırt çantasında 15, 20 veya 25 kg yük ile mümkün olan en kısa sürede 12,8 km düz bir parkurda yürüyüşü bitirmesi istenmiştir (Rayson ve ark., 2000). Çalışma sonucunda görev performanslarını tahmin etmek için oluşturulan regresyon modellerinde, 44 kg'lık kutu ile yapılan tekrarlı kaldırma ve taşıma görevi için plantar fleksiyon kuvvetinin her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı seviyeye ulaşmamış olsa bile ($p>0,05$) en yüksek 5 korelasyon katsayısından (tahmin edici parametreden) biri olduğu bulunmuştur (Rayson ve ark., 2000). Diğer görev performansları için plantar fleksiyon kuvvetinin önemli tahmin edici bir parametre olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

2006 yılında yaş ortalaması 27,5 olan 20 erkek askeri özel kuvvetlerden oluşan katılımcıların bulunduğu başka bir çalışmada, Simpson ve ark., (2006) askerlerin yük taşıma performansları ile alt uzuv kuvvet ölçümleri dâhil olmak üzere çeşitli fizyolojik ölçümler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu kapsamda katılımcıların hem kalça hem diz fleksörleri ve ekstansörlerinin eş merkezli izokinetik gücü sırası ile 1,57 rad/s ve 1,04 rad/s açısal hızlarında, her bir kasılma tipi için beş maksimum gönüllü çabadaki veriler kaydedilmiş ve bu ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. Sonrasında katılımcılardan 1- 20 kg'lık sırt çantası ile 3,2 km boyunca düz asfalt yolda koşma ve 2- 20 kg'lık sırt çantasıyla tepelerin üzerinden 29 km yürüyüş görevlerini tamamlaması istenmiştir (Simpson ve ark., 2006). İzokinetik kuvvet ölçümlerinin her iki yük taşıma göreviyle de istatistiksel anlamda önemli bir korelasyonu gözlemlenmemiştir.

Koerhuis ve ark., (2009) tarafından yayınlanan ve 23,6 yaş ortalamasına sahip 23 erkek komandonun katıldığı çalışmada, katılımcıların ağır yük taşıma performansları ile alt ve üst-uzuvda yapılan biyomekanik ölçümleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Alt uzuv kuvvet ölçümleri için katılımcıların ayakta durma pozisyonundan başlayarak 90° diz fleksiyonundan tekrar 40 cm/s'de ayakta durmaya

kadar dinamik izokinetik çömelme kuvveti 3 kez tekrarlandıktan sonra ortalama kuvvet ve maksimum kuvvet kayıt edilmiştir (Koerhuis ve ark., 2009). Ayrıca, 50° diz fleksiyonunda ayak plakasına karşı izometrik bacak ekstansiyonunun kas kuvveti ölçümü iki kez tekrarlanıp en iyi performans analizi için kullanılmıştır. Biyomekanik ölçümlerden sonra, katılımcılar 20 kg'lık bir sırt çantasını 3 km/saat hızında ve %5 eğimde bir koşu bandında taşınması istenmiştir (Koerhuis ve ark., 2009). Sonrasında katılımcıların son taşıma kapasitesine ulaşana kadar her 4 dakikada bir, sırt çantalarına ekstra 7,5 kg ağırlık eklenmiştir. Eğer katılımcılar son eklenen yükü sadece 4 dakikanın 2 dakikası için taşıdıysa, yük taşıma kapasiteleri bir önceki en ağır yüke 3,75 kg eklenerek tanımlanmıştır (Koerhuis ve ark., 2009). Böylelikle ağır yük taşıma kapasiteleri (AYTK) test edilmiştir. Ayrıca, katılımcıların ağır yük taşıma dayanıklılıkları, mümkün olduğu kadar uzun süre en yakın 7,5 kg'a yuvarlanmış AYTK'nin %70, %80 veya %90 ile 3 km/s hızda ve %5 eğimde bir koşu bandı üzerinde yürüyerek test edilmiştir (Koerhuis ve ark., 2009). Çalışma sonucunda, izometrik bacak ekstansiyonunun kas kuvveti ve hem ortalama hem de maksimum izokinetik çömelme kuvveti istatistiksel olarak anlamlı şekilde askerlerin ağır yük taşıma kapasiteleri ile korelasyonu gözlemlenmiştir (r değeri=0,53 ila 0,64 arasında rapor edildi) (Koerhuis ve ark., 2009). Bu sonuç, askerlerden alt uzuv kas kuvvetlerinin daha fazla olanlarının daha iyi bir ağır yük taşıma performansı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, izometrik bacak ekstansiyonunun kas kuvvetinin yağsız vücut kütlesi ile birlikte bir regresyon modelinde ağır yük taşıma dayanıklılığını en iyi tahmin eden parametreler olduğu bulunmuştur ($R^2=0,23$, $p<0,05$).

2012 yılında Fallowfield ve ark., (2012) tarafından yayınlanan çalışmaya 22 yaş ortalamasına sahip 12 erkek donanma askeri katılmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar katılımcıların dikey sıçrama/zıplama miktarı ve gücü gibi biyomekanik ölçümlerinin toplamda 270 dakika süren 31 kg'lık askeri teçhizatla 19,3 km yük taşıma görevi sonrasındaki değişimini incelemişlerdir. Katılımcıların dikey sıçrama yükseklikleri basınca duyarlı bir atlama minderi üzerinde askeri yükler olmadan (sadece askeri bot ve kıyafetler ile) üç kez maksimum çaba ile zıpladıktan sonra, bu üç zıplamanın ortalaması şeklinde kaydedilmiştir (Fallowfield ve ark., 2012). Dikey atlama gücü askerlerin kiloları ve zıplama yükseklikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Askerlerin yük taşıma öncesi ve sonrası dikey zıplama yükseklikleri (yük taşıma öncesine göre yaklaşık yüzde 8 daha az) ve gücü (yük taşıma öncesine göre yaklaşık yüzde 5 daha az) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

2013 yılında 26 yaş ortalamasına sahip 104 erkek asker üzerinde yapılan başka bir çalışmada (Hunt ve ark., 2013) askerlerin alt uzuv güçlerinin basit bir ölçümü olan dikey sıçrama karşı hareket atlama (a counter-movement vertical jump) mesafeleri ile 20 km'lik bir parkurda toplamda 28 kg'lık bir yükü 3 saat 15 dakika içinde tempolu şekilde yürüyerek tamamlama performansları arasındaki ilişki incelenmiştir (Hunt ve ark., 2013). Bunun için araştırmacılar, katılımcılardan dikey üç defa baskın ellerini mümkün olduğunca yükseğe kaldırarak dikey sıçrama (karşı hareket atlama) hareketi yapmalarını istemişlerdir ve ulaşılan en yüksek noktayı işaretletmişlerdir. Katılımcıların bu üç denemedeki en iyi performansları kaydedilmiştir. Araştırma sonucu, katılımcıların dikey sıçrama

mesafelerinin 20 km yürüyüş performansının tahmin etmek için oluşturulan regresyon modeline önemli ölçüde katkıda bulunduğu bulunmuştur ($R^2 = 0,269$, $p = 0,004$).

Literatürde bu konuda yapılan en yeni çalışma Mala ve ark., (2015) tarafından yayınlanmış olan çalışmadır. Bu çalışmanın amacı, ağır yük taşıma altında yüksek yoğunluklu muharebe görevleri ile askerlerin hem alt uzuv hem de üst-uzuv kuvvet ve gücünün ilişkisini incelemek şeklinde belirtilmiştir. Bu çalışma 21,8 yaş ortalamasına sahip 18 erkek asker katılımcı üzerinde gerçekleştirilmiştir (Mala ve ark., 2015). Bu bağlamda, tek tekrarlı maksimum (1RM) çömelme ve yatarak halter kaldırma (bench-press) protokolü kullanılarak alt uzuv ve üst uzuv gücü ölçülmüştür ve ayrıca alt uzuv gücü bir güç plakası üzerinde dikey sıçrama karşı hareket atlama (.) yöntemi ile değerlendirilmiştir (Mala ve ark., 2015). Her 1RM testi için katılımcılar tahmini olarak 1RM'nin yaklaşık %50'sinde 8-10 tekrar gerçekleştirmişlerdir ve ardından 1RM'nin %85'inde 3-5 tekrarlı başka bir deneme gerçekleştirmişlerdir. Sonrasında çömelme ve yatarak halter kaldırma egzersizi için bireysel 1RM'leri belirlemek için 2-3 dakikalık dinlenme ile birbirinden ayrılmış en fazla 4 maksimum deneme sonucu elde edilen veriler kullanılmıştır (Mala ve ark., 2015). Dikey sıçrama ölçümünde ise üç deneme sonrasında elde edilen maksimum değer rapor edilmiştir. Katılımcıların askeri performanslarının değerlendirilmesi için savaş alanında rutin olarak karşılaşılan patlama altında saldırı ve savunma manevralarını simüle etmek için askerlerden üç görevi (30 m kısa mesafe koşusu, 27 m zikzak koşu, 10 m yerde 79,5 kiloluk kazazede sürüklenme) en kısa sürede yerine getirmesi istenmiştir. Askerler kıyafet ve askeri koruyucu ekipmanlardan oluşan toplam 42 kg'lık askeri yükü taşıırken bu görevleri yerine getirmişlerdir (Mala ve ark., 2015). Çalışmanın sonucunda dikey sıçrama maksimum gücünün tamamlanmış görev bitirme zamanı, kısa mesafe koşu zamanı ve kazazede sürüklenme süresiyle önemli ölçüde ilişkili olduğu bulunmuştur ($r = -0,60$ ila $-0,67$ arasında rapor edilmiştir, $p < 0,05$) (Mala ve ark., 2015). 1RM çömelme kuvvetinin de tamamlanmış görev bitirme zamanı, kısa mesafe koşu zamanı, zikzak koşu zamanı ve kazazede sürüklenme süresiyle önemli ölçüde ilişkili olduğu bulunmuştur ($r = -0,48$ ila $-0,62$ arasında rapor edilmiştir, $p < 0,05$) (Mala ve ark., 2015). Bu çalışmada elde edilen negatif korelasyonlar yüksek alt uzuv kuvvet veya gücüne sahip olan askerlerin görevlerini daha kısa sürede tamamlama performanslarına sahip olduğunu göstermiştir.

5. Değerlendirme ve Sonuçlar

Şimdiye kadar yapılan sınırlı sayıdaki tüm çalışmalar göz önüne alındığında, çalışmalarda kullanılan yüklü yürüyüş görevlerinin gerçekleştiği koşullar, parkur alanları, mesafeler ve taşınan yüklerin ciddi anlamda farklılıklar gösterdiği ve standart bir test prosedürünün bulunmadığı sonucuna ulaşıldı. Bu da çalışmaların birbiri ile kıyaslanmasının önündeki en büyük engellerden biri olarak karşımıza çıkıyor. Diğer taraftan, standart bir ölçüm protokolünün oluşturulması gerekliliğini de gözler önüne seriyor. Genel olarak bu çalışmalar göz önüne alındığında, yüklü yürüyüşlerin gerçekleştirildiği parkurların düz zeminler olduğu ve parkurların sadece bazı bölümlerinde tepeler bulunduğu gözlemlendi. Genellikle bu yüklü yürüyüşler 2 ila 29 km arasında değişen uzaklıklara sahipti. Çalışmalarda verilen

bilgilere dayanarak, bu yüklü yürüyüşlerde askerlerin taşıdıkları yüklerin ortalama 18 ila 46 kg arasında olduğu sonucuna ulaşıldı. Bu çalışmaların sonuçlarına göre genellikle alt uzuv kuvveti ve gücünün artışının daha fazla yük taşıma kapasitesi ile doğru orantılı olduğu bulundu. Benzer şekilde, izometrik ve izometrik güç ölçümü yük taşıma performansı ve yük taşıma süresi ile doğru orantılı bulundu. Diğer taraftan, farklı dikey sıçrama testleri sonuçlarına göre hem yükün artması hem de bir yük taşıma görevinin tamamlanmasının başlangıca kıyasla bacak gücünü önemli ölçüde azalttığını gösterdi. Yine bu çalışmalarda biyomekanik ölçüm olarak sıklıkla alt uzuv kas gücü ve kuvveti ölçümlerinin yapıldığı tespit edildi. Yapılan çalışmalar görev öncesi ve sonrası statik konumda yapılan biyomekanik ölçümlere odaklandığı sonucuna ulaşıldı.

Literatürdeki bugüne kadar yayınlamış tüm veriler ışığında, askerlerin görev performansları taşımış oldukları yükler ile yakından ilişkilidir. Özellikle alt uzuv/bacak kuvveti ve gücü askeri personelin performansının ölçülmesinde önemli bir faktör olarak önümüze çıkıyor. Bu da özellikle özel görevde bulunacak askerlerin seçiminde alt uzuv biyomekanik ölçümlerinin bir seçim kriteri olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Ayrıca, askerlerin özellikle alt uzuv kuvvet ve güçlerinin artırılmasına yönelik egzersizlerin çoğaltılması gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca bu durum alt uzuvun gelişen teknolojiyle birlikte yapay dış iskelet sistemi (Zoss ve ark., 2005; Gopura ve Kiguchi, 2009) gibi yeni nesil destekleyici ortez ve mekanizmalar ile güçlendirilmesinin askerlerin görev performanslarında bir artış ortaya çıkarabileceği potansiyeline de işaret etmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda özellikle bireysel koruyucu ekipmanların standart toplam yükten bağımsız bir faktör olarak askerlerin belirlenmiş görevlerini yaparken performanslarını nasıl etkilediğine yönelik kapsamlı çalışmaların eksikliği görülmüştür ve gelecekte bu konu hakkında yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut biyomekanik testler ile görev öncesi ya da sonrası ayrı iki zamanda statik konumda genellikle kas kuvvet ve gücü ölçümleri yapılmaktadır. Özellikle son yıllarda paralel olarak farklı teknoloji alanlarındaki gelişim ile birlikte insanın hareketi sırasında fizyolojik ölçümlerin yanı sıra hareket ve kuvvet ile ilgili çeşitli biyomekanik ölçümleri yapabilecek giyilebilir sensör, internet, GPS ve akıllı telefon teknolojisi tabanlı yeni ölçüm ekipman prototipleri ortaya çıkmaya başlamıştır (Adesida ve ark., 2019; Aroganam ve ark., 2019; De Pasquale ve Ruggeri, 2019; Kiely ve ark., 2019; Dian ve ark., 2020; Lutz ve ark., 2020). Özellikle son teknoloji ile donatılmış "giyilebilir sensör tabanlı ekipmanlar", insanların günlük hayat aktiviteleri ya da görev aktiviteleri sırasında gerçek zamanlı fizyolojik ve hareket ile ilgili verilerin toplanmasını sağlayarak, öznel, zaman alıcı ve niteliksel yöntemlerin yerine dinamik gerçek zamanlı nesnel veriler sağlayarak daha karmaşık ve bütüncül bir biyomekanik analizi sağlayabilme potansiyeline sahiptirler (De Pasquale ve Ruggeri, 2019). Örneğin, klasik yürüme analizi, kuvvet ve basınç ölçme platformlarının yerine, ayakkabı tabanına ya da vücuda yerleştirilen/giyilebilen mikro elektromekanik sistemler/sensörler (MEMS) (Brunetti ve ark., 2006; Abdul Razak ve ark., 2012; Varkey ve ark., 2012; Boyd ve ark., 2013; De Pasquale ve Ruggeri, 2019) ile insanın laboratuvar ortamı dışında günlük yaşam ve/veya görev aktiviteleri sırasında gerçek zamanlı kablosuz hareket, basınç ve kuvvet

ölçümleri yapılabilir (Barrett ve ark., 2014; Cormack ve ark., 2014; De Pasquale ve Ruggeri, 2019; Macadam ve ark., 2019). Özellikle biyomekanik alanında, atalet ve manyeto-atalet ölçümü yapan atalet hareket sensörleri günden güne yaygınlaşmaya başlayan giyilebilir sensör teknolojilerindedir (Fong ve Chan, 2010). Bu kablosuz sensörler atalet/eylemsizlik prensibine dayalı, üç boyutlu doğrusal ivmeölçerler, jiroskoplar ve manyetometrelerden oluşur ve sıklıkla hareket dinamiği ölçümleri yapabilmektedir. Asker görev performansının incelenmesinde klasik olarak uygulanan biyomekanik ölçümlerden olan kas kuvveti ve gücünü ölçmenin ötesinde, belirlenen bir görev ya da senaryo sırasında yeni nesil giyilebilir MEMS tabanlı ekipmanlar ile gerçek zamanlı kapsamlı dinamik biyomekanik ölçümlerin askerlerin görev performansları ve onları geliştirme hususunda daha nesnel ve detaylı bilgiler verebileceğini düşünüyoruz. Bu tarz yeni nesil bütünleşik giyilebilir teknoloji tabanlı biyomekanik testlerden elde edilebilecek yeni bilgiler eşliğinde askerlerin gerek standart yüklerinin gerekse bireysel koruyucu ekipmanlarının tasarımı yeniden ele alınabilir ve askerin görev performansını artıran ve vücut yapısıyla uyumlu daha ergonomik ekipmanların imalatı da sağlanabilir. Bu bakımdan farklı yeni nesil biyomekanik test ekipmanlarının yakın gelecekte sıklıkla askerlerin görev performansının değerlendirilmesi için kullanılma potansiyelinin yüksek olduğunu düşünüyoruz. Diğer taraftan ülkemize bakan yönüyle, bugüne kadar askerlerin performansları ve onlardan alınan biyomekanik ölçümler arasındaki ilişki üzerine herhangi bir bilimsel çalışma yapılmamıştır ve/veya yapılmışsa bile akademik literatürde bulunmamaktadır. Ülkemiz genelinde bulunan seçkin askeri birliklerin seçiminde ve sonrasındaki performans değerlendirmelerinde, bu tarz biyomekanik tabanlı testlerin yaygın olarak kullanılması bu anlamda bu birliklerin seçiminde ve performanslarının değerlendirilmesinde daha objektif standart bir değerlendirme prosedürünün ortaya çıkmasını sağlayabilir. Ülkemizde seçkin özel kuvvet adı altında çeşitli ağır askeri eğitime tabi tutulan askeri personelin görev performanslarının ölçülmesi ve mevcut tasarlanan bu ağır eğitimlerin etkinliği özellikle yeni nesil biyomekanik testler ve ölçüm platformları ile değerlendirilebilir. Alt uzuv kuvveti ve gücünün daha ön plana çıktığı su akıntısına karşı yürüme, dereden geçme veya komando dansı vb. gibi eğitim türlerinin etkinliklerinin ölçümleri yine farklı biyomekanik testlerin uygulanması ile objektif olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, daha önce bu tarz bir disiplinlerarası bilimsel araştırma alanından Türkiye adresli hiçbir bilimsel yayının ortaya çıkmadığını göz önüne alırsak, bu alanın ülkemizde keşfedilmeyi beklediği ve gelişmeye açık olduğunu düşünüyoruz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Sorumlu yazar %70, birinci yazar %30 oranında makaleye katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abdul Razak AH., Zayegh A., Begg RK., Wahab Y. Foot plantar pressure measurement system: A review. *Sensors* 2012; 12(7): 9884-9912.
- Adesida Y., Papi E., McGregor AH. Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: A systematic review. *Sensors* 2019; 19(7): 1597-1623.
- Andersen KA., Grimshaw PN., Kelso RM., Bentley DJ. Musculoskeletal lower limb injury risk in army populations. *Sports Medicine-open* 2016; 2(1): 1-9.
- Aroganam G., Manivannan N., Harrison D. Review on wearable technology sensors used in consumer sport applications. *Sensors* 2019; 19(9): 1983.
- Bäckman E., Johansson V., Häger B., Sjöblom P., Henriksson K. Isometric muscle strength and muscular endurance in normal persons aged between 17 and 70 years. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 1995; 27(2): 109-117.
- Baltzopoulos V., Brodie D. Isokinetic dynamometry. *Sports Medicine-open* 1989; 8(2): 101-116.
- Barrett S., Midgley A., Lovell R. Playerload™: Reliability, convergent validity, and influence of unit position during treadmill running. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2014; 9(6): 945-952.
- Beckett MB., Hodgdon JA. Lifting and carrying capacities relative to physical fitness measures. Naval Health Research Center 1987.
- Billing DC., Silk AJ., Tofari PJ., Hunt AP. Effects of military load carriage on susceptibility to enemy fire during tactical combat movements. *The Journal of Strength Conditioning Research* 2015; 29: S134-S138.
- Boyd LJ., Ball K., Aughey RJ. Quantifying external load in Australian football matches and training using accelerometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2013; 8(1): 44-51.
- Brady C., Lush D., Chapman T. A review of the soldier's equipment burden. Defense Technical Information Center 2011; 15(169): 1-54.
- Breeze MJ., Watson CH., Horsfall I., Clasper CJ. Comparing the comfort and potential military performance restriction of neck collars from the body armor of six different countries. *Military Medicine* 2011; 176(11): 1274-1277.
- Brown SA., McNamara JA., Blake Mitchell K. Dynamic marksmanship: A novel methodology to evaluate the effects of clothing and individual equipment on mission performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2017.
- Brunetti F., Moreno JC., Ruiz A., Rocon E., Pons JL. A new platform based on IEEE802. 15.4 wireless inertial sensors for motion capture and assessment. *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2006.

- Carlton SD., Orr RM. The impact of occupational load carriage on carrier mobility: A critical review of the literature. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2014; 20(1): 33-41.
- Carr D., Lewis E. Ballistic-protective clothing and body armour. *Protective Clothing* 2014; 146-170.
- Cormack SJ., Smith RL., Mooney MM., Young WB., O'Brien BJ. Accelerometer load as a measure of activity profile in different standards of netball match play. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2014; 9(2): 283-291.
- Danneskiold SB., Bartels E., Bülow P., Lund H., Stockmarr A., Holm C., Wätjen I., Appleyard M., Bliddal H. Isokinetic and isometric muscle strength in a healthy population with special reference to age and gender. *Acta Physiologica* 2009; 197: 1-68.
- De Maio M., Onate J., Swain D., Morrison S., Ringleb S., Naiak D. Physical performance decrements in military personnel wearing personal protective equipment. *Naval Medical Center* 2009; 181: 1-7.
- De Pasquale G., Ruggeri V. Sensing strategies in wearable bio-mechanical systems for medicine and sport: A review. *Journal of Micromechanics and Microengineering* 2019; 29(10): 103001.
- Denning R. Camouflage fabrics. *Engineering of High-performance Textiles* 2018; 349-375.
- Dian FJ., Vahidnia R., Rahmati A. Wearables and the internet of things (iot), applications, opportunities, and challenges: A survey. *IEEE Access* 2020; 8: 69200-69211.
- Dziados JE., Damokosh AI., Mello RP., Vogel JA., Farmer Jr KL. Physiological determinants of load bearing capacity. *Army Research Inst of Environmental Medicine* 1987.
- Fallowfield JL., Blacker SD., Willems ME., Davey T., Layden J. Neuromuscular and cardiovascular responses of royal marine recruits to load carriage in the field. *Applied Ergonomics* 2012; 43(6): 1131-1137.
- Fong DTP., Chan YY. The use of wearable inertial motion sensors in human lower limb biomechanics studies: A systematic review. *Sensors* 2010; 10(12): 11556-11565.
- Giles GE., Hancock CL., Eddy MD., Hasselquist L., Mitchell KB., Brown SA., Villa J., Hennessy E., Caruso C. Assessing the impact of clothing and individual equipment (cie) on soldier physical, biomechanical, and cognitive performance. Part 2: Data analysis. *Soldier Center* 2019; 20(2): 1-167.
- Gopura R., Kiguchi K. Mechanical designs of active upper-limb exoskeleton robots: State-of-the-art and design difficulties. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 2009.
- Hackney A., Shaw J., Hodgdon J., Coyne J., Kelleher D. Cold exposure during military operations: Effects on anaerobic performance. *Journal of Applied Physiology* 1991; 71(1): 125-130.
- Hamill J., Bensel CK. Biomechanical analysis of military boots. Phase 3. Recommendations for the design of future military boots. *Soldier Center* 1996; 96(13): 1-42.
- Hasselquist L., Eddy MD., Mitchell KB., Brown SA., McNamara J., Hancock CL., Caruso C. Assessing the impact of clothing and individual equipment (cie) on soldier physical,

- biomechanical, and cognitive performance part 1: Test methodology. Army Natick Soldier Research Development and Engineering Center 2018; 18(4): 1-98.
- Hunt AP., Orr RM., Billing DC. Developing physical capability standards that are predictive of success on special forces selection courses. *Military Medicine* 2013; 178(6): 619-624.
- Ivins BJ., Schwab KA., Crowley JS., McEntire BJ., Trumble CC., Brown Jr FH., Warden DL. How satisfied are soldiers with their ballistic helmets? A comparison of soldiers' opinions about the advanced combat helmet and the personal armor system for ground troops helmet. *Military Medicine* 2007; 172(6): 586-591.
- Kiely M., Warrington G., McGoldrick A., Cullen S. Physiological and performance monitoring in competitive sporting environments: A review for elite individual sports. *Strength and Conditioning Journal* 2019; 41(6): 62-74.
- Knapik J., Harman E., Reynolds K. Load carriage using packs: A review of physiological, biomechanical and medical aspects. *Applied Ergonomics* 1996; 27(3): 207-216.
- Knapik J., Reynolds K., Harman E. Soldier load carriage: Historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. *Military Medicine* 2004; 169(1): 45-56.
- Knapik J., Reynolds K., Santee WR., Friedl KE. Load carriage in military operations a review of historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. Defense Technical Information Center 2010; 1014(55): 1-44.
- Knapik J., Staab J., Bahrke M., O'Connor J., Sharp M., Frykman P., Meilo R., Reynolds K., Vogel J. Relationship of soldier load carriage to physiological factors, military experience and mood states. *Army Research Inst of Environmental Medicine* 1990.
- Knapik J., Staab J., Michael B., Reynolds K., Vogel J., O'Connor J. Soldier performance and mood states following a strenuous road march. *Military Medicine* 1991; 156(4): 197-200.
- Koerhuis CL., Veenstra BJ., Van Dijk JJ., Delleman NJ. Predicting marching capacity while carrying extremely heavy loads. *Military Medicine* 2009; 174(12): 1300-1307.
- Kulkarni SG., Gao XL., Horner S., Zheng JQ., David N. Ballistic helmets—their design, materials, and performance against traumatic brain injury. *Composite Structures* 2013; 101: 313-331.
- Larsen B., Netto K., Aisbett B. The effect of body armor on performance, thermal stress, and exertion: A critical review. *Military Medicine* 2011; 176(11): 1265-1273.
- Lewis EA., Breeze J., Malbon C., Carr DJ. Personal armour used by uk armed forces and uk police forces. *Ballistic Trauma* 2017; 47-62.
- Lutz J., Memmert D., Raabe D., Dornberger R., Donath L. Wearables for integrative performance and tactic analyses: Opportunities, challenges, and future directions. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17(1): 59.
- Macadam P., Cronin J., Neville J., Diewald S. Quantification of the validity and reliability of sprint performance metrics computed using inertial sensors: A systematic review. *Gait & Posture* 2019; 73: 26-38.

- Mala J., Szivak TK., Flanagan SD., Comstock BA., Laferrier JZ., Maresh CM., Kraemer WJ. The role of strength and power during performance of high intensity military tasks under heavy load carriage. *US Army Medical Department Journal* 2015; 3-12.
- Marcinik E., Hodgdon J., Englund C., O'Brien J. Changes in fitness and shipboard task performance following circuit weight training programs featuring continuous or interval running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1987; 56(2): 132-137.
- Martin K., Périard J., Rattray B., Pyne DB. Physiological factors which influence cognitive performance in military personnel. *Human Factors* 2020; 62(1): 93-123.
- Martin PE., Nelson RC. The effect of carried loads on the combative movement performance of men and women. *Military Medicine* 1985; 150(7): 357-362.
- Mello RP., Damokosh AI., Reynolds KL., Witt CE., Vogel JA. The physiological determinants of load bearing performance at different march distances. *Army Research Inst of Environmental Medicine* 1988.
- Orr R. The history of the soldier's load. *Australian Army Journal* 2010; 7(2): 67-88.
- Orr RM., Dawes JJ., Lockie RG., Godeassi DP. The relationship between lower-body strength and power, and load carriage tasks: A critical review. *International Journal of Exercise Science* 2019; 12(6): 1001.
- Orr RM., Pope R. Gender differences in load carriage injuries of australian army soldiers. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2016; 17(1): 1-8.
- Orr RM., Pope R., Johnston V., Coyle J. Soldier occupational load carriage: A narrative review of associated injuries. *International Journal of Injury Control Safety Promotion* 2014; 21(4): 388-396.
- Rayson M., Holliman D., Belyavin A. Development of physical selection procedures for the british army. Phase 2: Relationship between physical performance tests and criterion tasks. *Ergonomics* 2000; 43(1): 73-105.
- Risteski S., Zhezhova S., Srebrenkoska V. Textile materials used in military protective clothes design. V International Congress "Engineering, Environment and Materials in Processing Industry", 2017.
- Simpson RJ., Gray SC., Florida-James GD. Physiological variables and performance markers of serving soldiers from two "elite" units of the british army. *Journal of Sports Sciences* 2006; 24(06): 597-604.
- Sole G., Hamrén J., Milosavljevic S., Nicholson H., Sullivan SJ. Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation* 2007; 88(5): 626-631.
- van Dijk J. Common military task: Marching. *Optimizing Operational Physical Fitness* 2009; 80: 1-46.

- Varkey JP., Pompili D., Walls TA. Human motion recognition using a wireless sensor-based wearable system. *Personal and Ubiquitous Computing* 2012; 16(7): 897-910.
- Zoss A., Kazerooni H., Chu A. On the mechanical design of the berkeley lower extremity exoskeleton (bleex). *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2005.
- Zwolińska M., Bogdan A., Fejdyś M. Influence of different types of the internal system of the ballistic helmet shell on the thermal insulation measured by a manikin headform. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2014; 44(3): 421-427.