

Hentbolda Performans Bileşenleri: Fizyolojik Gereksinimler ve Top Atış Hızı

Performance Factors of Handball: Physiological Demands and Velocity of Ball Throwing

^{ID} Celal GENÇOĞLU^a, ^{ID} Hikmet GÜMÜŞ^a

^aDokuz Eylül Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, İzmir, TÜRKİYE

ÖZET Hentbol, kısa süreli yüksek şiddetli aktivitelerin tekrarlı uygulanması ile oynanan aralıklı bir takım sporudur. Son yıllarda bu konuda yayımlanan çok sayıda araştırma sonucu, alandaki tüm paydaşlar için çok önemlidir. Bu derlemenin amacı, hentbol performans bileşenlerinin etkilerinin araştırıldığı bilimsel çalışmalarını derleyen bir literatür incelemesi yapmaktır. PubMed, Web of Science ve Google Scholar Akademik veri tabanları, birincil anahtar kelime olan “Handball” ile birlikte ikincil anahtar kelimelerden en az birinin birlikte yer alması ön koşulu sağlanarak, ikincil anahtar kelimeler olarak “Physiological demands” ya da “Throwing velocity” ya da “Match analysis” ya da “Small-sided games” ya da “Distance covered” kullanılarak 2000-2018 yılları arasında taranmıştır. Dışlama ve dâhil edilme kriterlerinin uygulanması sonrasında toplam 76 makale çalışmada derlenmiştir. Bu derlemeyle, hentbolda seviyeye ve pozisyona bağlı fiziksel ve fizyolojik gereksinimlerin farklılığı da incelenmiştir. Maç içindeki yüksek şiddetli aktivitelerin azalmasıyla ortaya çıkan yorgunluk gelişimi tartışılmıştır. Hentbolda sonuca gitmekte en önemli unsur olan atış kinematiki kısaca tanımlanarak, top fırlatma hızına etki eden faktörler ve antrenman etkileri incelenmiştir. Ek olarak, hentbolda az sayıdaki dar alan oyunu araştırma sonuçları, yöntemsel standart olmaması nedeni ile çelişkili bulunmuştur. Bu derlemede hentbol performansı; maç gereksinimleri, fiziksel yük, atış hızı ve dar alan oyunları perspektifinden farklı seviye, yaş grubu, cinsiyet ve antrenman durumuna göre karşılaştırılmıştır. İleri dönemde, daha fazla maç ve antrenman yükü belirleyen bireyselleşme ilkesine uygun veri sağlayacak ve antrenman etkilerini araştırılan saha çalışmalarına gereksinim bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hentbol; dar alan oyunları; top atış hızı; fizyolojik gereksinimler; koşu mesafesi

ABSTRACT Handball is an intermittent team sport in which players perform high-intensity activities repeatedly. Recent results of published investigations in handball topics are essential for specialists such as coaches, physicians, and strength and conditioning practitioners. This review aims to review articles that researched to performance factors of handball. We searched PubMed, Web of Science, and Google Scholar databases between 2000-2018 years. The searching was performed by primary keyword “Handball” and secondary keywords “Physiological demands” or “Throwing velocity” or “Match analysis” or “Small-sided games” or “Distance covered”. After including and excluding criteria performed a total of 76 articles reviewed in this study. In this review, we discussed the physical, physiological and on-court demands of handball players in special reference to position and playing level. During the handball matches, fatigue development also considered that appears with the determination of decreased high-intensity activities. Additionally, as an important factor for handball scoring, throwing kinematics described and training effects of throwing velocity reviewed. In the literature, only a few small-sided games investigation exists that used non-standard methods. Further research is needed to understand the individual training, and match load of handball players from different sex, level, physical characteristics.

Keywords: Handball; small sided games; throwing velocity; physiological demands; distance covered

Hentbol, kısa süreli yüksek şiddetli aktivitelerin tekrarlı uygulanması ile oynanan aralıklı bir takım sporudur. Kale atışı, rakiple temas hâlinde mücadele, atış veya blok yapma için sıçrama, geçiş oyununda yapılan sprintler, rakibi geçmek için ani yön değiştirmeler hentbolun yapısını oluşturan aksiyonlardır.^{1,2} Üstelik Uluslararası Hentbol Federasyonunun yaptığı kural değişikliği ile birlikte gol sonrasında hızlı santra ile oyunun tekrar başlaması savunma ile hücum arasında geçen süreyi azaltmıştır.³

meler hentbolun yapısını oluşturan aksiyonlardır.^{1,2} Üstelik Uluslararası Hentbol Federasyonunun yaptığı kural değişikliği ile birlikte gol sonrasında hızlı santra ile oyunun tekrar başlaması savunma ile hücum arasında geçen süreyi azaltmıştır.³

Correspondence: Celal GENÇOĞLU

Dokuz Eylül Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, İzmir, TÜRKİYE/TURKEY

E-mail: celal.gencoglu@deu.edu.tr

Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences.

Received: 19 Apr 2019

Received in revised form: 14 Nov 2019

Accepted: 21 Nov 2019

Available online: 03 Dec 2019

2146-8885 / Copyright © 2020 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



Hentbolda başarılı olabilmek için antrenörler; sporcu seçiminden kondisyon antrenmanlarına kadar geniş bir yelpazede plan yapmalı ve çalışmalıdır. Hentboldaki hareket örüntüleri, koşulan mesafeler ve koşu hızları yanında maç ve antrenmanlara özgü metabolik ihtiyaçların neler olduğu iyi analiz edilmelidir. Geçmiş araştırmalar, sahada hentbola özgü verilerin toplanmasında karşılaşılan sınırlılıklar nedeni ile antropometrik ölçümler, VO_{2max} ve anaerobik kapasite ölçümleri gibi profil belirlemeye odaklanmıştır.^{4,5} Bununla birlikte, branşa ait fizyolojik gereksinimleri belirlemek için gerçek zamanlı antrenman ve maç verisi elde etmek birtakım sınırlılıklar içermektedir. Ancak, son dönemde giyilebilir teknolojiler oyuncu yükünü daha detaylı inceleme fırsatı sunmaktadır.

Bu derlemenin amacı, hentbol ile ilgili güncel bilimsel makaleler ışığında branşın fizyolojik gereksinimlerini anlamak, atış hızına etki eden parametreleri incelemek ve dar alan oyunları (DAO) ile antrenman uygulamalarının sonuçlarını tartışarak antrenör, kondisyoner ve spor hekimi gibi alandaki profesyonellere pratik uygulamaları vurgulamaktır.

YÖNTEM

PubMed, Web of Science ve Google Scholar veri tabanları kullanılmıştır. Aramalar, 2000-2018 yılları arasında sınırlandırılmıştır. PubMed ve Web of Science aramalarında birincil anahtar kelime “Handball” ile birlikte ikincil anahtar kelimelerden en az birinin birlikte yer alması ön koşulu sağlanmış, arama “başlık”, “özet” ve “anahtar kelimeler” içinde yapılmıştır. İkincil anahtar kelimeler olarak “Physiological demands” ya da “Throwing velocity” ya da “Match analysis” ya da “Small-sided games” ya da “Distance covered” kullanılmıştır. Birincil ve ikincil anahtar kelimeler aynı olmak üzere Google Scholar’da yapılan aramalar yalnızca “başlık” içinde yapılmıştır.

Bu derlemede, tam metnine ulaşamayan, hakem değerlendirmesi olmayan, İngilizce ve Türkçe dilinden farklı yazılan, hipotezi konu alt başlıklarına uygun bulunmayan çalışmalar dışlanarak, 61 makale değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca tanımlanan literatüre ait referans listeleri ek olarak araştırılmış ve uygun kaynakçalar tekrar internette araştırılarak, ulaşılan toplam 76 kaynakça bu derlemeye dâhil edilmiştir.

MAÇ ANALİZİ

Hentbol maçları büyükler kategorisinde 60 dk (30 dk’lık iki devre) üzerinden oynanmasına rağmen duraklamalar ve molalarla birlikte erkeklerde yaklaşık 73-79 dk, kadınlarda ise 71 dk sürerken, etkin oyun süresi maç başına $50:42\pm 5:50$ dk’dır.^{6,7} Oyunda topa sahip olma durumuna göre takımlar hücum veya savunma evrelerine geçerler ve ortalama 22-36 sn. arayla bu pozisyonu hızlı hücum-geri dönme veya yerleşik hücum-savunma (set) olarak değiştirirler. Bununla birlikte oyun pozisyonunun $\%88\pm 6$ ’sının çoğunluğu set hücum veya savunmada geçmektedir.⁸ Hentbolda her 55 saniyede bir düşük ve yüksek şiddetli egzersiz arasında geçiş olmaktadır. Chelly ve ark., hentbol maçında her bir koşu süresini yaklaşık 14,4 sn. olarak ölçmüş ve karşılığında 19,5 sn. toparlanma gerçekleştiğini tespit etmişlerdir.⁹ Hentbol maçlarında sporcuların fizyolojik gereksinimleri ve enerji harcaması belirlenirken kısa süreli yüksek şiddetli aksiyonlar göz ardı edilmektedir. Her bir oyuncu maçta yaklaşık $663,8\pm 99,7$ kez aktivite değiştirmektedir.¹⁰ Dahası, hentboldaki fiziksel gereksinimin top ve rakiple direkt ilişkili olması ve koşu dışında şut, pas, aldatma, kayma adımı, savunma için vücut temasının da içinde olduğu çok geniş aksiyon ağına sahip olması nedeni ile maç içi fiziksel ihtiyaçları belirlemek oldukça zordur. Aynı zamanda hızlanma, yavaşlama ve yön değiştirme hentbolda sıklıkla uygulanmaktadır ve bu tür eksantrik kasılma içeren aksiyonlar enerji ihtiyacının belirli bir kısmını oluştururlar. Ani yön değiştirme ve durma, toplam aksiyonların yaklaşık $\%60$ ’ını oluşturmaktadır ki bu da pozisyonlara göre farklılık göstermekle birlikte 19,1-38,2 adet durma ve 18,4-37,9 adet yön değiştirme olarak rapor edilmiştir.^{11,12} Hemen tüm spor dallarında olduğu gibi hentbolda da yorgunluğu anlamak ve buna uygun strateji geliştirmek için maç içi gereksinimleri anlamak ve yüklenme/dinlenme oranına dikkat etmek gerekmektedir.

KOŞU MESAFELERİ

Loftin ve ark., tek bir hentbol maçında yaptıkları araştırmada, katedilen mesafeyi 4.000-6.000m olarak rapor etmişlerdir.¹³ Şibila ve ark. ise katedilen toplam mesafeyi 1.753-3.855 m olarak bulmuşlardır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre en yüksek mesafeyi kanat

oyuncuları katederken, en düşük mesafe kaleciler tarafından katedilmiştir. Kaleciler göz ardı edildiğinde, yüksek hızlarda geçilen mesafe toplam mesafenin %12-18'ini kapsamaktadır.¹⁴ Ancak bu araştırma genç erkek sporcularda yapılmıştır ve maç süresi erişkinlere göre daha kısadır. Ayrıca hazırlık maçlarında alınan bu verilere, sporcuların teknik-taktik seviyeleri etki etmiş olabilir. Belka ve ark., genç elit kadın hentbolcularda maç zaman-hareket analizinde katedilen toplam mesafeyi 3399,2±362,3 m, yüksek hızda katedilen mesafeyi 556,3±115,7 m ve sprintte katedilen mesafeyi 696,04±177,8 m olarak tespit etmişlerdir.¹⁵ Diğer bir zaman-hareket araştırmasında, 19 yaş altı kadın hentbolcularda koşu mesafeleri yüksek şiddetli koşu ve sprint mesafeleri (oyun kurucular 7.138,3±334,4 m; kanatlar 6.915,3±362,2 m ve pivotlar 6.337,1±477,3 m) literatüre göre yüksek yüzdeye sahip bulunmuştur.¹⁶ Bunun sebebi veri toplanan genç kategori maçlarında rekabetin az olmasıyla (6 resmî müsabakanın 3'ünün 10 sayı üstü fark ile bitmesi) açıklanabilir.

Luig ve ark., 2007 Dünya Şampiyonası'nda yaptıkları analizde, kanat, oyun kurucu, pivot ve kaleci pozisyonlarına göre toplam katedilen mesafeyi sırasıyla 3.710,6±210,2 m, 2.839,9±150,6 m, 2.786,9±238,8 m ve 2058,1±90,2 m olarak bulmuşlardır. Saha oyuncularının toplam katettikleri mesafe aktivite örüntüsüne göre %34,3±4,9 ile yürüme, %44,7±5,1 ile yavaş koşu, %17,9±3,5 ile hızlı koşu ve %3,0±2,2 ile sprint şeklinde dağılmıştır.¹⁷ Diğer bir turnuva analizinde Cardinale ve ark., erkekler 2015 Dünya Şampiyonası'nda video analiz yöntemi kullanarak oynanan 88 maçta 24 ülke takımından kalecilerin çalışma dışı bırakılmasıyla 384 oyuncunun aktivite profillerini belirlemişlerdir. Toplamda sol kanat 3.339,20±1640 m, sağ kanat 3.403,5±1602,8 m ve yüksek hız ile sprint aralıklarında en fazla mesafe kateden oyuncular kanatlar olmuştur.¹⁸ Hentbolde oyuncuların savunma ve hücum özelliklerine göre ayrı görevler aldıkları veya kimi oyuncuların pas ve organizasyon gibi daha teknik rollerde kimilerinin ise daha çok temas içeren mücadeleler gerçekleştirdikleri bilinmektedir. Bu çalışmada, 195 oyuncu analizinde anlamlı olarak az mesafe koşan sporcuların sadece savunmada oynadıkları görülmüştür. Ayrıca kısa dinlenme aralıklarıyla zorlu maçlar oynanan tur-

nuvada antrenörler oyuncu rotasyonuna gitmiş olabileceklerinden araştırma sonuçları liglerde alınanlara göre farklı olabilir. Michalsik ve ark., 46 lig maçına ait maç video kaydında 180 farklı elit kadın hentbolcudaki yaptıkları çalışmada, maç sırasındaki koşu mesafesini 4.002±551 m ve koşu temposunu 88,5±5,5 m/dk olarak ölçmüşlerdir.¹⁹ Karcher ve Buchheit ise hentbol maçlarındaki koşu temposunun 53±7-90±9 m/dk aralığında olduğunu belirtmektedirler.⁸ Bunun yanında, erkek hentbolcuların toplam mesafenin %7,9-23,2'sini ve toplam sürenin %1,7-4,3'ünü yüksek şiddetli koşu ve hareketlerle geçirdikleri bulunurken, kadın hentbolcuların toplam mesafenin %3,3'ünü ve sürenin %0,8'ini yüksek enerji gerektiren hareket kategorilerinde geçirdikleri görülmüştür.^{6,10,11,12} Maçta ulaşılan ortalama hız erkeklerde kadınlara göre daha yüksekken, her iki cinsiyette de kanat oyuncuları, oyun kurucu ve pivotlara göre daha yüksek şiddetli hareketler uygulamışlardır.^{6,10,12} Hentbolda toplam katedilen mesafenin diğer takım sporlarından düşük olması, sahanın küçük olması ve farklı taktiksel organizasyon ile oynanmasından kaynaklanabilir. Yine bu çalışmalarda maç analizinde veri toplarken oyuncuların asgari olarak oyunda kalma süreleri, oyuncu değişiklikleri ve molaları dışlayarak etkin oyun süresini dikkate alan ve almayan araştırma protokolleri nedeni ile farklılıklar görülmüş olabilir.^{6,9-12} Luteberget ve Spencer ise Norveç ulusal kadın hentbol takımının 9 resmî maçı sırasında İnertiyel Ölçüm Sensörü [Inertial Measurement Unit (IMU)] kullanarak maç sırasında hentbolcularının yüksek şiddetli hareketlerini tespit etmeye çalışmışlardır. Bu çalışma sonucuna göre akselerasyon 0,7±0,4 acc/dk, deselerasyon 2,3±0,9 dec/dk ve yön değiştirme 1,0±0,4 CoD/dk olarak ölçülmüş, her üç parametrede de oyuncu pozisyonlarına göre farklılıklar bulunmuştur.²⁰ Oyuncu yükü tüm gruplar kombine edildiğinde 8,82±2,06 playerload/dk iken, pozisyonlara göre oyuncu yükü incelendiğinde, oyun kurucu ve pivotlar en yüksek, kaleciler ise en düşük değerlere sahiptir. Benzer olarak tüm oyuncuların yüksek şiddetli hareketleri (YŞH) birlikte değerlendirildiğinde 3,90±1,58 YŞH/dk bulunurken, oyuncu pozisyonlarına göre yüksek şiddetli aksiyonlar oyun kurucular, pivotlar, kanatlar ve kaleciler şeklinde sıralanmıştır. Sadece hücum oynayan oyuncuların oyuncu yükü/dk ve

YŞH/dk parametrelerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.²⁰ Ancak maç sırasındaki taktiksel değişiklikler oyuncu pozisyonlarına göre değişimden sorumlu olabilir. Ayrıca IMU üniteleri hentbolda özellikle pivot pozisyonunda gerçekleşen izometrik aksiyonları belirleyemediğinden bir hata payı söz konusudur.

FİZYOLOJİK GEREKSİNİMLER

Hentbolda oyuncuların fiziksel ve fizyolojik karakteristiği oyuncu pozisyonuna ve seviyesine göre değişmektedir. Elit hentbolcuların daha kuvvetli, hızlı, çevik ve kardiyovasküler dayanıklılıklarının daha düşük seviyedeki oyunculara karşı daha iyi olduğu bilinmektedir.²¹

Elit kadın hentbolcularda VO_{2max} değeri $53,1\pm 4,8$ mL/kd/dk bulunmuştur ve pozisyonlara göre farklılık saptanamamıştır.²² Dayanıklılık için laboratuvarında koşu bandında kademeli artan protokolda yapılan testlerde, elit ve deneyimli hentbolcularda ortalama VO_{2max} değeri 55-60 mL/kg/dk bulunmuştur.^{5,19-23} Buchheit ve ark., hentbolcularda DAO sırasında (2×225 s 4:4 hentbol alıştırtması 30 s dinlenme aralığıyla) ölçtükleri VO_{2max} değerini ($60,2\pm 2,6$ mL/kg/dk), mekik koşusu ($56,4\pm 5,2$ mL/kg/dk) ve laboratuvar test sonucuna ($57,3\pm 4,7$ mL/kg/dk) göre daha yüksek bulmuşlardır.²³

Elit kadın hentbolcularda maç sırasındaki iş yükünün, VO_{2max} 'ın %79,4 \pm 6,4'üne denk geldiği gösterilmiştir.¹⁰ Benzer olarak son dönem araştırmalarının sonuçlarında, hentbol maçındaki iş yükünün VO_{2max} 'ın %65-85'ine denk geldiği ve ortalama kalp hızının 160-170 atım/dk olduğu görülmektedir.^{11,19,24-26}

Kalp atım hızı (KAH) ve kan laktat seviyesi, hentbolda maç sırasında oyuncu yükünü belirlemek amacıyla en sık kullanılan ölçüm araçlarıdır. Belka ve ark.na, göre oyuncuların toplam oyun sürelerinin %83 \pm 3,6'sını, maksimum kalp atım hızlarının (KAH_{maks}) %85'i ve üzerinde geçirdikleri gözlenmiştir.¹⁵ Maç sırasında ulaşılan KAH_{zirve} , KAH_{maks} 'ın %95-98'i olarak rapor edilmiştir.^{6,11,12,22,27} Maç sırasında ortalama KAH'nin ise bireysel KAH_{maks} 'ın %70-87'si düzeyinde olduğu gösterilmiştir.^{6,11,28}

Karcher ve Buchheit, saha içi fizyolojik yükü KAH_{maks} 'ın %82 \pm 9-87 \pm 9 hızında ve maç sonrası

laktat konsantrasyonunu $4,8\pm 1,9$ - $8,3\pm 1,0$ mmol/L aralığında bildirmişlerdir.⁸ Ancak, maç sırasında hentbolcuların kan laktat değeri aralıklarında çelişkili sonuçlar göze çarpmaktadır. Farklı ulusal liglerden elit erkek hentbolcularda ilk yarıda ulaşılan kan laktat değeri $3,7\pm 1,6$ mmol/L, $4,2\pm 2$ (1,6-8,6) mmol/L ve $9,7\pm 1,1$ mmol/L olarak (sırasıyla Danimarka, Portekiz ve Tunus ligleri) ölçülmüştür.⁸ Sonuç olarak, maç sırasında kan örneği alınmasında yaşanan zorluklar nedeni ile kaslardaki gerçek glikolitik aktivite birebir yansıtılamayabilir. Ayrıca maçlardaki taktiksel değişimlerden kaynaklanan oyun temposundaki dalgalanmalar, laktat verilerinden net bir çıkarım yapmayı zorlaştırmaktadır.

YORGUNLUK GELİŞİMİ

Póvoas ve ark.na göre, hentbolda ilk yarıya kıyasla ikinci yarıda yüksek şiddetli aktivite defans aksiyonlarında azalma görülmektedir.¹¹ Benzer olarak ikinci devrede ortalama koşu hızı düşüşü görülürken, toplam mesafede azalma belirlenmemiştir.^{6,10} Buna benzer olarak, Chelly ve ark., her iki devredeki koşu mesafesinde anlamlı fark olmadığını göstermişlerdir.⁹ Ancak, ikinci devrede daha fazla yürüme ve daha az "jogging" şeklinde düşük şiddetli aksiyon artışı gözlenmiştir.^{9,10} Póvoas ve ark., ikinci devrede oyuncuların daha az ani durma, yön değiştirme ve birbir oynama uyguladıklarını, ayrıca aktivite değişim aralıklarının uzadığını tespit etmişlerdir. Aynı araştırma sonucuna göre ikinci devre ortalama KAH düşmüş ve KAH_{maks} 'ın %80'inde geçirilen sürenin azaldığı ortaya çıkmıştır. Ek olarak, maçtaki en yüksek şiddetli koşunun ilk 5 dk ve en düşük koşu hızının ikinci devrenin ilk 5 dk'sında olduğu görülmüştür.^{11,12} Michalisk ve ark., toplam ve yüksek hızda geçilen mesafenin, birinci devrenin ilk 5 dk'sında ikinci devreye göre ve birinci devrenin ilk 10 dk'sında son 10 dakikasına göre daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Ancak, maçın son 5 dk'sındaki toplam katedilen mesafe ilk yarının son 5 dk'sına göre daha yüksek çıkmıştır.⁶ Bu sonuç, maçın sonlarında skora bağlı efor artışına bağlı olabilir. Sonuç olarak, hentbolda şiddetli aktivitelerin maç sonuna doğru azaldığı dolayısıyla yorgunluk geliştiği söylenebilir. IMU tabanlı oyuncu yükü ve yüksek şiddetli hareketlerin araştırıldığı çalışmada Wik ve ark., oyuncu yükünün ikinci devrede ilk devreye göre azaldığını ve ilk devrenin

ilk 10 dk'lık periyodundaki oyuncu yükünün diğerlerine göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Benzer olarak en şiddetli 5 dk'lık periyodu takip eden 5 dk'da oyuncu yükünün ortalamasının altında kaldığını göstermişlerdir.²⁹ Bu araştırmanın sonuçları da önceki video analiz yöntemiyle yapılan araştırma sonuçlarıyla uyumlu olarak hentbolcularda yorgunluk gelişimini ortaya koymaktadır. Ancak, IMU ünitelerinin kullanımının ve hesaplama algoritmalarının yeni olması nedeni ile ölçümlerin hata kaynağı tartışılmaktadır.

Hentbolda akut yorgunluk gelişimi nöromusküler aktivite ve kas mekanik özelliklerinde de görülmüştür. Ronglan ve ark., 3 ardışık gün yapılan hentbol maçlarının nöromusküler etkilerini araştırmışlardır. Buna göre izokinetik diz ekstansiyon, sıçrama ve 20 m sprint performanslarında %2-8 arasında düşüş görülmüştür. En yüksek performans düşüşü, diz ekstansiyon kuvveti ve sıçrama yüksekliğinde, 2 ve 3. günlerde meydana gelmiştir.³⁰ Thorlund ve ark., elit erkek hentbolcularda maç benzeri bir parkur uygulanması sonrasında kuadriseps ve hamstring kaslarında elektromiyografi (EMG) ölçümlerinde maksimum istemli kasılma (MVC) ve kuvvet üretim oranında anlamlı düşüş saptamışlardır. Ayrıca sıçrama yüksekliğinde %5,2 ve vücut ağırlık merkezi hızında %6,8 oranında azalma saptanmıştır.³¹

Hentbolda yüksek hızda katedilen mesafelerin az olmasına ve fonksiyonel aerobik kapasitenin oyunda baskın metabolik yol olarak görülmesine rağmen hentbola spesifik hareketlerin optimize edilmesi önemlidir. Bununla birlikte kuvvet, sürat ve ivmelenme hentbol performansını doğrudan etkilemektedir.

KALE ATIŞI

Hentbolda kale atışı hızı ve atış isabeti skor oluşturanın temel unsurlarıdır ve bu iki etkenin bileşimi atış etkinliğini oluşturmaktadır. Atış etkinliği teknik, koordinasyon ve alt-üst ekstremitelerin maksimum güç üretebilme kapasitesine bağlıdır.³²

Önemli bir performans unsuru olarak kale atışı yüksek açısız hızlarda defalarca gerçekleştirildiğinden omuz ve glenohumeral eklem sakatlıkları görülme sıklıkları fazladır.^{33,34} Rotator kaf kasları, omuz internal ve eksternal rotatorları baş üzeri atış kinematiklerinde etkindir ve glenohumeral eklem stabilite-

zasyonuna yardım etmektedir. Bu nedenle çoğunlukla omuz iç ve dış rotatorlarının kuvveti ve kuvvet dengesi bir değerlendirme ve ölçüm kriteri olarak kullanılmaktadır. Fleck ve ark., dirsek ekstansiyon, omuz abduksiyon, omuz iç rotasyon [internal rotation (IR)] ve dış rotasyon [external rotation (ER)] izokinetik kuvvetinin tümünün hentbol atış hızını etkilediğini göstermişlerdir.³⁵ Bununla birlikte atış hızı ve omuz rotatorları arasındaki ilişki incelendiğinde, omuz IR ve ER açısız hızı bağlı olarak ilişkili bulunmuştur.³⁶⁻³⁸ Andrade ve ark., omuz rotator kas kuvvetinin önemi doğrultusunda; konsantrik ve eksantrik kas kuvveti profilini belirlemek için izokinetik omuz IR ve ER kuvvetini ölçmenin, hentbol gibi asimetric sporlarda omuz kas kuvvetlendirmede önemini vurgulamaktadırlar.³⁹ Andrade ve ark., hentbol maçını yansıtan bir yorgunluk uygulamasının atış hızına ve omuz izokinetik kas kuvvetine etkisini araştırmışlardır. Maç benzeri yorgunluk protokolü, omuz IR ve ER zirve tork sonuçlarında istatistiksel olarak anlamlı biçimde azalmaya yol açmıştır.³⁸ Dahası, maç benzeri aktivitelerin omuz eklemine IR ve ER kas kuvvetinde dengesizliğe yol açtığı görüldüğünden maç sonlarında omuz sakatlığı riskinin artabileceği düşünülmektedir.

TOP ATIŞ HIZI

Farklı atış teknikleri ve savunmayı geçebilmek için kullanılan değişik stratejiler nedeni ile başarılı atışı tanımlamak oldukça zor olsa da atış hızını, isabetini ve sonucu etkileyen faktörlerin ilişkisini inceleyen birçok araştırma bulunmaktadır. Atış tekniği (bireysel teknik veya oturarak, durarak, koşarak, sıçrayarak atış), ölçüm yöntemi (radar, fotosel sistemi, kamera ve hareket analiz sistemi) veya uygulama farklılıklarına (savunma-kaleciye karşı ya da hedefe atış) rağmen hentbolda atış hızı 16-26 m/s, diğer bir deyişle 57,6-93,6 km/saat arasında değişmektedir.^{32,40-46} Atış hızında belirgin bir cinsiyet farkı gözle çarpılmaktadır. Erkek hentbolcuların kadın hentbolculara göre daha yüksek atış hızına sahip olmasının nedeni, erkek hentbolcuların kadınlara göre hem boy hem de ekstremitelerinin daha uzun, vücut ve kas kütle ağırlıklarının ise daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır.⁴⁷

Literatürde hentbolda ve diğer baş üzeri fırlatma hareket örüntüsüne sahip spor dallarında atış hızına etki edebilecek faktörler araştırıldığında, atış hızının

sporcuların fiziksel profilleriyle ilişkili olduğu ve daha ağır ve uzun sporcuların kütle etkisiyle daha hızlı atış yapabildikleri görülmüştür.^{41,48} Bir diğer araştırma, sportif seviye farkının, yani profesyonel veya amatör olarak hentbol oynayanların atış hızlarının farklı olduğunu ve elit oyuncuların daha iyi atış performansı gösterdiklerini bulmuştur.⁴⁹ Benzer olarak kadın hentbolcularda oyun seviyesi farkının atış hızını etkilediği görülmüştür. Üst düzey elit kadın hentbolcular, elit ve elit olmayan hentbolculara göre durarak, koşarak ve 3-adım sıçrayarak atış hızlarında belirgin üstün performans göstermişlerdir.⁵⁰ Saavedra ve ark., büyük takım oyuncuları ile alt yaş kategorisindeki kadın hentbolcular arasında atış hızının anlamlı olarak farklı olduğunu göstermişlerdir.⁵¹ Rivilla-García ve ark., genç ve büyük erkek hentbolcularda atış kapasitesini karşılaştırdıklarında, ağır ve hafif sağlık topu fırlatma hızı ile rakipli ve rakipsiz atış hızı parametrelerinin hepsinde daha yaşlı hentbolcuların gençlere göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini bulmuşlardır.⁵²

Hentbolda pozisyona bağlı atış hızını inceleyen Rivilla-García ve ark., 3 farklı seviyeden (elit, ulusal ve amatör) oyuncuları uzak atış grubu (oyun kurucular) ve yakın atış grubu (kanat ve pivotlar) olarak ayırmışlardır. Bu çalışmada, atış hızı hem kaleci varken hem de kaleci olmadan ölçülmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre, atış hızı oyuncu seviyesine göre değişmektedir ve elit oyuncular her iki gruba göre daha yüksek atış hızına sahipken, ulusal oyuncular da amatör sporculardan daha hızlı atış yapabilmektedir. Ayrıca her 3 seviyedeki hentbolculardan uzak atış grubu, yakın atış grubuna göre daha hızlı atış yapmakta ve bunu rakibe karşı atış yapılırken de sürdürebilmektedir.⁵³ Bu çalışmanın bulgularını, Shalfawi ve ark.'nın bulguları da desteklemektedir. Oyun kurucular, diğer pozisyondaki oyunculara göre daha yüksek atış hızına sahiptir. Pivotlar da kanat oyuncularına ve kalecilere göre daha hızlı şut atabilmektedir.⁴⁰

Atış hızı ile isabet oranı arasındaki ilişki birçok araştırmada incelenmiştir. Oyunculardan daha hızlı atış yapmaları istendiğinde, acemi hentbolcuların isabet oranlarının düştüğü rapor edilmiştir. Buna karşın daha yüksek seviyedeki oyunculardan atış hızını kısmen düşürmeleri istendiğinde isabetin etkilenmediği

görülmüştür. Ayrıca düşük seviyedeki hentbolcuların atış isabeti, kaleciye karşı yaptıkları atışlarda da düşmektedir.^{54,55}

Atış hızı mutlaka taktik durumlara göre değerlendirilmeliyse de en çok kullanılan atış tekniği 3-adım atıştır.⁵⁶ Bunun nedeni, oyun kurucular blok yapan savunma oyuncularını geçmeye çalışırken, kanat ve pivotların daha uygun bir şut açısı yakalamaya ve kaleciyi geçmeye çalışmalarıdır. Ayrıca şut sırasında kalenin en sık tercih edilen bölgesi alt köşeler olarak öne çıkmaktadır.⁵⁶ Alt köşeye kullanılan atışlarda kol ivmelenmesine daha fazla süre tanındığı için top hızı daha yüksek olmakta ve isabet için topun kontrolü daha iyi sağlanmaktadır. Ayrıca üst köşelerle karşılaştırıldığında kalecilerin kalede alt bölgelere gelen atışları kurtarması daha zordur.⁵⁷

Atış hızının değerlendirilmesinde akselometre kullanımı yeni bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Skejóa ve ark., atış hızını akselometreyle tahmin etmek için farklı hızlarda ve tekniklerde yirmi beşer atış yapan hentbolcuların verilerinden doğrusal regresyon analizi ile hassas sonuçlar elde edebilmişlerdir. Ancak, atış hızı kestirim süreci manuel ve uzun sürmekte olduğundan akselometrelerin henüz atış hızı veya tekniği hakkında oyuncu ve antrenörlere geri bildirim vermesi mümkün değildir.⁵⁸ Benzer olarak, beyzbolda atış kinematığının incelenmesinde IMU yeni bir yöntem olarak sunulmuştur. Berkson ve ark., kamera analiziyle karşılaştırıldığında akselerasyon hızını, kamera analiz yöntemiyle benzer olarak ölçmüşlerdir.⁵⁹ Bir diğer IMU çalışmasında da baş üstü atış kullanan sporcuların omuz eklemlerinin aşırı kullanımı hakkında ve sakatlığı önleyici bir geri bildirim sistemi olması test edilmiştir.⁶⁰ Yakın zamanda sensör teknolojilerinde gerçekleştirilecek gelişmeler hentbolda atış hızını maç ortamında ölçmeyi sağlayabileceği gibi, büyük veri birikimi analizleriyle, hentbolcuların pas ve şut gibi temel aksiyonlarının değerlendirilmesi ve başarı kriterlerinin incelemesi yapılabilir.

ATIŞ KİNEMATİĞİ

Kale atışı, bir açık kinetik zincir (open chain) hareket dizisinden oluşmaktadır. Atış kinetik zincir hareketini kullanarak distal segmentte yüksek hıza

ulaşmayı hedefler (proksimal-distal). Kinetik zincir hızını etkileyen faktörlerden biri de sırt-karın (core kaslar) ve pelvik kasların kuvvet üretme ve vücut ekstremitelerine aktarma becerisine bağlıdır. Atışı oluşturan hareket dizisinin (sekans) proksimalden distale gerçekleştiği deneyimli ve elit sporcularda gösterilmiştir.⁴⁸ Ancak atışın sonunda segmental rotasyon tam olarak proksimal-distal hareket sekansını karşılamayabilmektedir. Maksimum pelvis rotasyon açılma hızı, gövde rotasyonundan önce olmaktadır. Ayrıca gövde fleksiyon açılma hızı dirsek ekstansiyon ve omuz IR açılma hızından sonra gerçekleşmektedir. Maksimum dirsek ekstansiyonu maksimum omuz rotasyon açılma hızından önce gerçekleştiğinde atış hızı daha yüksek olabilmektedir. Çünkü erken dirsek ekstansiyonu kolun momentini düşürmekte ve omuz IR'nin daha yüksek olabilmemesini sağlayarak daha yüksek atış hızına neden olmaktadır.^{44,48} Buna göre, gövdenin hareketi ve segmental ivmelenmenin optimal zamanlaması hentbol atış performansı için temel şartlardır. van den Tillaar ve Ettema, deneyimli hentbolcuların atış sırasında 3 boyutlu analizine göre topun elden çıkışı evresinde iç rotasyon maksimum hızı ve dirsek açısı parametrelerinin atış performansı ile ilişkisi olduğunu göstermişlerdir. Yine dirsek açısı ve top hızı arasında kuvvetli korelasyon bulmuşlardır.⁶¹ Atış hızı yüksek olan oyuncular daha küçük dirsek açısına sahip olduğundan, top daha uzun bir yol izleyip, yüksek ivmelenmeye ulaşabilmektedir. Maksimum pelvis açısının zamanlamasıyla top hızı arasındaki anlamlı ilişki de üst gövde katkısını düşündürmektedir.

ATIŞ HIZI VE KUVVET ANTRENMANI İLİŞKİSİ

Kadın hentbolcularda gövde stabilite antrenmanlarının atış hızına etkisini araştıran bir çalışmada, 6 hafta, 2 gün/hafta progresif gövde kuvvet egzersizleri uygulamasının atış hızına etkisi incelenmiştir. Dinamik gövde kuvvet egzersizleri yapan grup ile kontrol grubu arasında antrenman girişimi öncesinde atış hızı farkı yokken, süreç sonrasında antrenman grubu istatistiksel olarak anlamlı (%4,9) atış hızı gelişimi göstermiştir.⁶² Benzer bir çalışmada Manchado ve ark., genç erkek hentbolcularda 10 hafta boyunca zorluk derecesi giderek artan 7 farklı lumbopelvik kuvvet antrenmanı yapmanın

kontrol grubuna göre %4,5 artış sağladığını göstermişlerdir.⁶³ Bu tür gövde kas kuvvetini geliştirmeyi amaçlayan çalışmaların bulguları, lumbopelvik stabilite ve rotasyon kuvveti artışının atış hızına olumlu etki ettiğini düşündürmektedir.

Literatürde geleneksel kuvvet antrenmanlarının hentbolda atış hızına etkisini araştıran çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Farklı yüklenme yöntemleri kullanılan 6-9 hafta aralığındaki kuvvet antrenmanı girişimlerinin atış hızını yaklaşık %6,9'a kadar geliştirdiği bilinmektedir.^{45,46,64,65} Ayrıca kuvvet ve güç parametrelerinin atış hızına olumlu etkisini gösteren başka çalışmalar da bulunmaktadır.^{32,49,66} Zapartidis ve ark., atış hızıyla hem alt hem de üst ekstremiteler arasında orta seviyede kuvvetli pozitif anlamlı korelasyon olduğunu göstermişlerdir.⁴³ Ancak diğer araştırmalarda, üst gövde kuvveti ile atış hızı arasında ilişki (1 tekrarlı maksimum göğüs pres zirve gücü ile atış hızı arasında korelasyon) bulunamamıştır.^{49,67} Buna karşın Gorostiaga ve ark., göğüs pres bar hızıyla (1TM %30 direnç ile) atış hızı arasında anlamlı ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır.⁴⁹

Hentbolda sağlık topu fırlatma türünden pliometrik egzersizler oldukça sık başvurulan antrenman yöntemleridir. Örneğin, 9 haftalık antrenman sürecinde ağırlık topuyla çalışmanın (800 g), direnç egzersizi (1-12 kg yük ile) ve kontrol grubuna göre atış hızını hem durarak atışta hem de 3 adım atışta geliştirdiğini göstermiştir.⁶⁸ Son dönemde olimpiyat oyunlarına hazırlanan Danimarka erkek hentbol takımı 8 haftalık kuvvet egzersizlerinin yanı sıra pliometrik fırlatma egzersizleri de uygulamıştır.⁶⁹ Sonuç olarak, hentbolda atış hızının sonuca gitmede sahip olduğu önem ortadadır. Sakatlık riskini minimize etmek için stabilizasyon egzersizleri özellikle çalışılmalıdır. Omuz rotator kas kuvveti, core kuvveti ve sinerjist kasların zincirleme kasılmasıyla yüksek hızlarda atış yapmak mümkün olduğundan kuvvet antrenman programları hazırlanırken ilgili kas gruplarını içeren, tek eklemliler değil aynı zamanda hareketi oluşturacak türde pliometrik egzersizlerin uygulanması gerekmektedir.

DAR ALAN OYUNLARI

Hentbolda gereken fiziksel güç, dayanıklılık ve kuvvet için kondisyon antrenmanları sezon boyunca çalışma programında önemli yer tutmaktadır. Müsabaka

döneminde programlarda eğilim değişiklikleri nedeni ile teknik, taktik ya da kondisyonel açıdan kayıplar olabilir. Hentbolda biyomotor becerilerin iç içe olduğu kompleks egzersizleri planlamak giderek artan bir antrenman yaklaşımıdır. Böylece taktiksel bir davranış tekrarlanırken, aerobik dayanıklılık optimize edilebilir veya şut antrenmanı ile patlayıcı kuvvet ilişkilendirilebilir. En sık yapılanlar ise hentbola özgü hareket örüntülerinin, uygulanan bir dizi aksiyonun kısıtlı alanda, kural değişiklikleriyle kurgulanarak DAO ile çalışılmasıdır.

Corvino ve ark., DAO'da saha boyutlarının oyuncu yükü ve eforuna etkisini araştırmışlardır. Farklı saha ölçülerinde (12*24 m, 30*15 m ve 32*16 m) dörder saha oyuncusu ile 3x8 dk hentbol alıştırmaları uygulanmıştır. Saha boyutu; şut, pas, sıçrama ve yüksek hızdaki aksiyonlar gibi dönüşümsüz aksiyonların sayısını anlamlı ölçüde etkilememektedir.⁷⁰ Benzer olarak, DAO'nun uygulandığı saha ölçüsünün, KAH ve algılanan zorluk derecesi (AZD) ne etkisinin olmadığı görülmüştür. Ancak, DAO sınırlarının küçültülmesi düşük hızda katedilen mesafeyi artırırken, yüksek hızda geçilen mesafeyi azaltmaktadır. Bu çalışmadaki DAO temposu hentbol maçı temposundan daha yüksek bulunmuştur (DAO: 118,5-135,9 m/dk ve resmî maç: 19,8-87,5 m/dk). Paralel olarak hentbola özgü aerobik koşu egzersizlerinin sporcuları, VO_{2max} 'larının %94'üne ulaştırdığı gösterilmiştir.²³

Chittibabu, 3 seans/haftax8 hafta hentbola özgü 4:4 DAO antrenmanlarının, aerobik kapasite, sprint ve yorgunluk indeksi parametrelerinde gelişime neden olduğunu göstermiştir.⁷¹ Ancak, katılımcıların, seviyesi üst düzey olmayan amatör üniversite öğrencilerinin antrenman etki rezervi yüksek olması nedeni ile sonuçlar yanıltıcı olabilir.

Iacono ve ark., temaslı ve temassız sınırlı alan oyunlarını (10 temaslı ve 10 temassız DAO, video analiz yöntemiyle) karşılaştırdıklarında KAH yanıtları iki grupta (12 genç elit erkek hentbolcu) benzer bulunurken, AZD temassız DAO grubunda anlamlı olarak yüksek bulunmuştur. Zaman hareket analiz sonuçlarına göre temassız DAO grubu sprint (79,5±4,7'ye karşı 39,7±3,7 m) ve hızlı koşuda (232,3±8,5'e karşı 159,7±5,7 m) daha yüksek mesafelere ulaşmıştır.

Buna karşın temaslı DAO grubu kayma adımı, sıçrama ve fiziksel temas parametrelerinde diğer gruba göre anlamlı olarak yüksek bulunmuştur.⁷² Temas olmaksızın hentbol alıştırmaları, daha uzun mesafeleri yüksek şiddetle koşturmayı izin verirken; toparlanma aralıklarını, yürüme ve geri yürüme gibi düşük şiddetli lökomotor aktiviteler oluşturmaktadır. Ayrıca nöromusküler yorgunluk temaslı DAO grubunda aktif sıçrama performansı düşerken, temassız DAO grubunda bir fark olmadığı gözlenmiştir. Temaslı DAO ile daha yüksek nöromusküler yüklenme elde edilebileceği, inflamatuvar sitokin interlökin-6'nın kandaki konsantrasyonunun artmasından anlaşılmaktadır.⁷³

Hentbolda DAO (4x5 dk 3:3 ve 6:6) öncesinde kuvvet antrenmanı akut etkisini araştıran Abade ve ark., kuvvet antrenmanının KAH_{maks} 'ın %90'ını üzerinde geçirilen süreyi ve AZD'yi artırdığını göstermişlerdir. Kuvvet antrenmanı sonrasında 3:3 oynanan DAO, 6:6 uygulanan DAO'ya göre oyuncuların KAH ve AZD sonuçları daha yüksek bulunmuştur.⁷⁴ Buna göre, daha az sporcunun katıldığı DAO'nın daha yüksek uyarıma neden olduğu dolayısıyla oyuncuların dış yükünü arttırmaktadır. Daha fazla sporcu katılımının alan paylaşımı ve top kullanımını artırması aerobik performans gelişimi için kullanılabileceğini düşündürmektedir. Diğer bir çalışmada, hipertrofik kuvvet egzersizlerinin DAO sırasında dikey sıçrama ve teknik aksiyonlara akut etkisi araştırılmıştır. Kuvvet antrenmanı sonrasında dikey sıçrama performansı azalmış, ancak 3:3 DAO oyunu ile kombinasyonunda performans düşüklüğü daha fazla olmuştur. Ayrıca kuvvet antrenmanı sonrasında 3:3 DAO sırasında teknik etkinliğin de bozulduğu görülmüştür.⁷⁵ DAO 3:3 uygulamak fizyolojik yükü artırırken, başarısız atış ve pas hatası, top tutamama gibi teknik elementlerin bozulmasına yol açabilir.

Resmî oyun alanının, sporcu sayısının ve kurallarının değiştirilerek spora özgü beceri ve fiziksel becerilerin bir arada çalışmasına izin vermesinin yanında her yaşta ve seviyeden sporcular için kullanımını giderek yaygınlaşmaktadır. Antrenör tarafından hem teknik hem de fiziksel parametrelerin hangisinin çalışılacağı özenle belirlenerek DAO'lar oluşturulmalıdır. Bu tarzdaki antrenmanlarla sporcular sadece

maç benzeri ortamda çalışmakla kalmaz, yorgunluk ve rakip baskısı altındayken karar verme gibi fizyolojik ve bilişsel stresle de başa çıkmayı öğrenirler.

SONUÇ

Bu derlemede, hentbol performansı; maç gereksinimleri, fiziksel yük, atış hızı ve DAO perspektifinden farklı seviye, cinsiyet ve antrenman durumuna göre karşılaştırılmıştır. Hâlen, büyük örneklerle çalışılan ve standart antrenman etkilerini araştıran uzun dönem araştırma eksikliği göze çarpmaktadır. Son dönemde kapalı ortamda ölçümleri kolaylaştıran mikrosensörler ve akselometreler ile sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Gelecekte, bu araçlar kullanılarak taktik davranışların analiz edileceği ve antrenman yüklerini görüntüleyip kaydederek geriye dönük veri biriktirecek daha fazla çalışma yapılması beklenmektedir.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Celal Gençoğlu, Hikmet Gümüüş; **Tasarım:** Denetleme/Danışmanlık: Celal Gençoğlu, Hikmet Gümüüş; **Analiz ve/veya Yorum:** Celal Gençoğlu, Hikmet Gümüüş; **Kaynak Taraması:** Celal Gençoğlu, Hikmet Gümüüş; **Makalenin Yazımı:** Celal Gençoğlu; **Eleştirel İnceleme:** Hikmet Gümüüş.

KAYNAKLAR

- Cardinale M. Handball performance: physiological considerations and practical approach for training metabolic aspects. Retrieved March, Materials From 3rd & 4th Congress Sport Medicine & Handball. 2001. [Link]
- Ziv G, Lidor R. Physical characteristics, physiological attributes, and on-court performances of handball players: a review. Eur J Sport Sci. 2009;9(6):375-86. [Crossref]
- International Handball Federation. The official handball rules. 2010. [Link]
- Granados C, Izquierdo M, Ibáñez J, Ruesta M, Gorostiaga EM. Effects of an entire season on physical fitness in elite women's handball players. Med Sci Sports Exerc. 2008;40(2):351-61. [Crossref] [PubMed]
- Rannou F, Prioux J, Zouhal H, Gratas-Delamarche A, Delamarche P. Physiological profile of handball players. J Sports Med Phys Fitness. 2001;41(3):349-53. [PubMed]
- Michalsik LB, Aagaard P, Madsen K. Locomotion characteristics and match-induced impairments in physical performance in male elite team handball players. Int J Sports Med. 2013;34(7):590-9. [Crossref] [PubMed]
- Michalsik LB, Aagaard P. Physical demands in elite team handball: comparisons between male and female players. J Sports Med Phys Fitness. 2015;55(9):878-891. [PubMed]
- Karcher C, Buchheit M. On-court demands of elite handball, with special reference to playing positions. Sport Med. 2014;44(6):797-814. [Crossref] [PubMed]
- Chelly MS, Hermassi S, Aouadi R, Khalifa R, Van den Tillaar R, Chamari K, et al. Match analysis of elite adolescent team handball players. J Strength Cond Res. 2011;25(9):2410-7. [Crossref] [PubMed]
- Michalsik LB, Madsen K, Aagaard P. Physiological capacity and physical testing in male elite team handball. J Sports Med Phys Fitness. 2015;55(5):415-29. [PubMed]
- Póvoas S, Seabra A, Ascensão A, Magalhães J, Soares JM, Rebelo AN. Physical and physiological demands of elite team handball. J Strength Cond Res. 2012;26(12):3365-75. [Crossref] [PubMed]
- Póvoas S, Ascensão A, Magalhães J, Seabra AF, Krstrup P, Soares JM, et al. Physiological demands of elite team handball with special reference to playing position. J Strength Cond Res. 2014;28(2):430-42. [Crossref] [PubMed]
- Loftin M, Anderson P, Lytton L, Pittman P, Warren B. Heart rate response during handball singles match-play and selected physical fitness components of experienced male handball players. J Sports Med Phys Fitness. 1996;36(2):95-9. [PubMed]
- Šibila M, Vuleta D, Pori P. Position-related differences in volume and intensity of large-scale cyclic movements of male players in handball. Kinesiology. 2004;36(1):58-68.
- Belka J, Hulka K, Safar M, Weisser R, Samcova A. Analyses of time-motion and heart rate in elite female players (U19) during competitive handball matches. Kinesiology. 2014;46(1):33-43.
- Bélka J, Hülka K, Šafář M, Weisser R. External and internal load of playing positions of elite female handball players (U19) during competitive matches. Acta Gymnica. 2016;46(1):12-20. [Crossref]
- Luig P, Manchado Lopez C, Pers J, Perse M, Kristan M, Schander I, et al. Motion characteristics according to playing positions in international men's team handball. Book of Abstracts - 13th Annual Congress of the European College of Sports Science 9-12 July 2008, Estoril - Portugal, p.255.
- Cardinale M, Whiteley R, Hosny A, Popovic N. Activity Profiles and Positional Differences of Handball Players During the World Championships in Qatar 2015. Int J Sports Physiol Perform. 2017;12(7):908-15. [Crossref] [PubMed]
- Michalsik LB, Aagaard P, Madsen K. Technical activity profile and influence of body anthropometry in male elite team handball players. European Handball Scientific Conference. 2011a. [Link]
- Luteberget LS, Spencer M. High-intensity events in international women's team handball matches. Int J Sports Physiol Perform. 2017;12(1):56-61. [Crossref] [PubMed]

21. Nikolaidis PT, Ingebrigtsen J. Physical and physiological characteristics of elite male handball players from teams with a different ranking. *J Hum Kinet.* 2013;38:115-24. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
22. Manchado C, Tortosa-Martínez J, Vila H, Ferragut C, Platen P. Performance factors in women's team handball: physical and physiological aspects--a review. *J Strength Cond Res.* 2013;27(6):1708-19. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
23. Buchheit M, Lepretre PM, Behaegel AL, Millet GP, Cuvelier G, Ahmaidi S. Cardiorespiratory responses during running and sport-specific exercises in handball players. *J Sci Med Sport.* 2009;12(3):399-405. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
24. Buchheit M, Laursen PB, Kuhnle J, Ruch D, Renaud C, Ahmaidi S. Game-based training in young elite handball players. *Int J Sports Med.* 2009 30(4):251-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
25. Michalsik L. Match performance and physiological capacity of male elite team handball players. In: *European Handball Federation Scientific Conference.* 2011b. [[Link](#)]
26. Michalsik LB, Madsen K, Aagaard P. Technical match characteristics and influence of body anthropometry on playing performance in male elite team handball. *J Strength Cond Res.* 2015;29(2):416-28. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
27. Manchado C, Hoffmann E, Valdivielso FN, Platen P. Physiological demands in female handball - demands and heart rate during matches of the German National Team. *Dt Z Sportmed.* 2007;58(10):24-9.
28. Cunniffe B, Fallon C, Yau A, Evans GH, Cardinale M. Assessment of physical demands and fluid balance in elite female handball players during a 6- day competitive tournament. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2015;25(1):78-88. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
29. Wik EH, Luteberget LS, Spencer M. Activity profiles in international women's team handball using playerload. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(7):934-42. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
30. Ronglan LT, Raastad T, Børgesen A. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female handball players. *Scand J Med Sci Sports.* 2006;16(4):267-73. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
31. Thorlund JB, Michalsik LB, Madsen K, Aagaard P. Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18(4):462-72. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
32. Chelly MS, Hermassi S, Shephard RJ. Relationships between power and strength of the upper and lower limb muscles and throwing velocity in male handball players. *J Strength Cond Res.* 2010;24(6):1480-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
33. Møller M, Nielsen RO, Attermann J, Wedderkopp N, Lind M, Sørensen H, et al. Handball load and shoulder injury rate: a 31-week cohort study of 679 elite youth handball players. *Br J Sports Med.* 2017;51(4):231-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
34. Myklebust G, Hasslan L, Bahr R, Steffen K. High prevalence of shoulder pain among elite Norwegian female handball players. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23(3):288-94. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
35. Fleck S, Smith SL, Craib MW, Denehan T. Upper extremity isokinetic torque and throwing velocity in team handball. *J Strength Cond Res.* 1992;6(2):120-4. [[Crossref](#)]
36. Dauty A, Kitar E, Dubois C, Potiron-Josse A. Relationship between ball velocity and the shoulder rotators isokinetic torque in high-level handball players. *Science & Sports* 2005; 20(5-6):300-3.
37. Bayios IA, Anastasopoulou EM, Sioudris DS, Boudolos KD. Relationship between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001;41(2):229-35. [[PubMed](#)]
38. Andrade MS, de Carvalho Koffes F, Benedito-Silva AA, da Silva AC, de Lira CA. Effect of fatigue caused by a simulated handball game on ball throwing velocity, shoulder muscle strength and balance ratio: a prospective study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2016;8:13. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
39. Andrade Mdos S, Fleury AM, de Lira CA, Dubas JP, da Silva AC. Profile of isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of shoulder rotator muscles in elite female team handball players. *J Sports Sci.* 2010;28(7):743-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
40. Shalfawi SAI, Seiler S, Tønnessen E, Haugen TA. Aspects of shooting velocity in Norwegian Elite team Handball. *Serb J Sports Sci.* 2014;8:33-40.
41. Wagner H, Buchecker M, von Duvillard SP, Müller E. Kinematic description of elite vs. low level players in team-handball jump throw. *J Sports Sci Med.* 2010;9(1):15-23. [[PubMed](#)]
42. van den Tillaar R, Ettema G. Effect of body size and gender in overarm throwing performance. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(4):413-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
43. Zapartidis I, Gouvali M, Bayios I, Boudolos K. Throwing effectiveness and rotational strength of the shoulder in team handball. *J Sports Med Phys Fitness.* 2007;47(2):169-78. [[PubMed](#)]
44. Fradet L, Botcazou M, Durocher C, Cretual A, Multon F, Prioux J, et al. Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence? *J Sports Sci.* 2004;22(5):439-47. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
45. Gorostiaga EM, Granados C, Ibañez J, González-Badillo JJ, Izquierdo M. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(2):357-66. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
46. Hoff J, Almåsbaakk B. The effects of maximum strength training on throwing and muscle strength in female-handball players. *J Strength Condit Res.* 1995;9(4):255-8. [[Crossref](#)]
47. Laver L, Landreau P, Seil R, Popovic N. *Handball Sports Medicine: Basic Science, Injury Management and Return to Sport.* 1st ed. Berlin, Germany: Springer; 2018. p.653. [[Crossref](#)]
48. van den Tillaar R, Ettema G. A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *J Sports Sci Med.* 2004;3(4):211-9. [[PubMed](#)]
49. Gorostiaga EM, Granados C, Ibañez J, Izquierdo M. Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *Int J Sports Med.* 2005;26(3):225-32. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
50. Moss SL, McWhannell N, Michalsik LB, Twist C. Anthropometric and physical performance characteristics of top-elite, elite and non-elite youth female team handball players. *J Sports Sci.* 2015;33(17):1780-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
51. Saavedra JM, Kristjánsdóttir H, Einarsson IP, Guðmundsdóttir ML, Þorgeirsson S, Stefansson A. Anthropometric characteristics, physical fitness, and throwing velocity in elite women's handball teams. *J Strength Cond Res.* 2018;32(8):2294-301. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
52. Rivilla-García J, Navarro F, Grande I, Ignatova AS, Sampedro J. Differences throwing capacity between senior and u-18 men handball players. *Serb J Sports Sci.* 2010;4(4):145-51.
53. Rivilla-García J, Lorenzo CJ, Van den Tillaar R. [Comparison of throwing velocity between first and second offensive line handball players]. *Kinesiologia Slovenica.* 2016;22(3):5-15.
54. García JA, Sabido R, Barbado D, Moreno FJ. Analysis of the relation between throwing speed and throwing accuracy in team-handball according to instruction. *Eur J Sport Sci.* 2013;13(2):149-54. [[Crossref](#)]
55. van den Tillaar R, Ettema G. Instructions emphasizing velocity, accuracy, or both in performance and kinematics of overarm throwing by experienced team handball players. *Percept Mot Skills.* 2003;97(3 Pt 1):731-42. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
56. Wagner H, Müller E. The effects of differential and variable training on the quality parameters of a handball throw. *Sports Biomech.* 2008;7(1):54-71. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
57. Wagner H, Finkenzeller T, Würth S, von Duvillard SP. Individual and team performance in team-handball: a review. *J Sports Sci Med.* 2014;13(4):808-16. [[PubMed](#)]

58. Skej a SD, M llerb M, Benckec J, Sørensen H. Predicting throwing velocity using accelerometers. 2018. [\[Link\]](#)
59. Berkson E, Aylward R, Zachazewski J, Paradiso J, Gill TJ. IMU arrays: the biomechanics of baseball pitching. [\[Link\]](#)
60. Rawashdeh SA, Rafeldt DA, Uhl TL. Wearable IMU for shoulder injury prevention in overhead sports. *Sensors (Basel)*. 2016;16(11): pii: E1847. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
61. van den Tillaar R, Ettema GA. Three-dimensional analysis of overarm throwing in experienced handball players. *J Appl Biomech*. 2007;23(1):12-9. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
62. Saeterbakken AH, van den Tillaar R, Seiler S. Effect of core stability training on throwing velocity in female handball players. *J Strength Cond Res*. 2011;25(3):712-8. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
63. Machado C, García-Ruiz J, Cortell-Tormo JM, Tortosa-Martínez J. Effect of core training on male handball players' throwing velocity. *J Hum Kinet*. 2017;56:177-85. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PMC\]](#)
64. Hermassi S, Ingebrigtsen J, Schwesig R, Fieseler G, Delank KS, Chamari K, et al. Effects of in-season short-term aerobic and high-intensity interval training program on repeated sprint ability and jump performance in handball players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018;58(1-2):50-6. [\[PubMed\]](#)
65. Ettema G, Glosen T, van den Tillaar R. Effect of specific resistance training on overarm throwing performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2008;3(2):164-75. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
66. Marques MC, van den Tillaar R, Vescovi JD, Gonzalez-Badillo JJ. Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2007;2(4):414-22. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
67. Chaouachi A, Brughelli M, Levin G, Boudhina NB, Cronin J, Chamari K. Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *J Sports Sci*. 2009;27(2):151-7. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
68. Barata J. Changes in ball velocity in the handball free throw, induced by two different speed-strength training programs. *Portuguese J Human Perf*. 1992;8(1):45-55.
69. Kvorning T, Hansen MR, Jensen K. Strength and conditioning training by the Danish National Handball Team prior to an Olympic Tournament. *J Strength Cond Res*. 2017;31(7):1759-65. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
70. Corvino M, Vuleta D,  sibila M. Analysis of load and players' effort in 4vs4 small-sided handball games in relation to court dimensions. *Kinesiologia*. 2016;48(2):26-7. [\[Crossref\]](#)
71. Chittibabu B. Effect of small-sided handball game on aerobic capacity and repeated sprint ability of male handball players. *Turkish Journal of Sport and Exercise*. 2014;16(2):22. [\[Crossref\]](#)
72. Dello Iacono A, Martone D, Zagatto AM, Meckel Y, Sindiani M, Milic M, et al. Effect of contact and no-contact small-sided games on elite handball players. *J Sports Sci*. 2018;36(1):14-22. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
73. Dello Iacono A, Eliakim A, Padulo J, Laver L, Ben-Zaken S, Meckel Y. Neuromuscular and inflammatory responses to handball small-sided games: the effects of physical contact. *Scand J Med Sci Sports*. 2017;27(10):1122-9. [\[Crossref\]](#) [\[PubMed\]](#)
74. Abade E, Abrantes C, Ib  nez S, Sampaio J. Acute effects of strength training in the physiological and perceptual response in handball small-sided games. *Science & Sports*. 2014;29(5):e83-9. [\[Crossref\]](#)
75. Abade EA, Gonçalves BV, Vilaa JM, Sampaio JE. Acute effects of strength training programs on vertical jump and technical actions in handball during preseason. *Comprehensive Psychology*. 2014. [\[Crossref\]](#)