TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AMPUTE YÜZÜCÜLERDE KİNETİK VE KİNEMATİK PARAMETRELERDEKİ DEĞİŞİMİN PERFORMANSA ETKİSİ

NEJLA GERÇEK

DOKTORA TEZİ

BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ANABİLİM DALI
SPOR SAĞLIK BİLİMLERİ

DANIŞMAN
PROF. DR. YAŞAR TATAR

2020 - İSTANBUL

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmemiş bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Nejla GERÇEK

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın fikrinin oluşturulmasında ve çalışmanın yürütülmesinde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, sadece bilimsel çalışmalarıyla değil vizyonu ve gerçekleştirdiği sosyal sorumluluk projeleriyle de hayata bakış açımı değiştiren değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Yaşar TATAR' a bilgi paylaşımları, sabrı ve emeğinden dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamın planlanmasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirmeleriyle çalışmamı şekillendiren hocalarım Sayın Doç. Dr. Selda UZUN ve Prof. Dr. Nusret RAMAZANOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Çalışmanın yürütülebilmesi için alan ve malzeme desteği sağlayan Marmara Üniversitesi, Spor Bilimleri ve Sporcu Sağlığı Uygulama ve Araştırma merkezi çalışanlarına, ölçümler esnasında bana yardımcı olan meslekdaşlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak yoğun çalışmalarım sırasında bana sabır gösteren, desteklerini hayatımın her anında hissettiğim aileme, ablalarım Nurşah ve Gülşah'a yanımda olduklarını her zaman hissettirdikleri için teşekkür ederim.

*Bu tez, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından SAG-C-DRP-110618-0310 kodlu proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

BEYAN
TEŞEKKÜR **i**
İÇİNDEKİLER **iii**
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ **iv**
ŞEKİLLER LİSTESİ **v**
RESİMLER LİSTESİ **vii**
TABLOLAR LİSTESİ **viii**
1. ÖZET **1**
2. SUMMARY **2**
3. GİRİŞ ve AMAÇ **3**
4. GENEL BİLGİLER **5**
4.1. Serbest Yüzme Tekniği 5
4.1.1. Kol Vuruş Fazları 5
4.1.2. Bacak Vuruşu Fazları 9
4.2. Serbest Yüzme Biyomekaniği 14
4.3. Yüzme Sporunda Yapılan Kuvvet Ölçümleri 21
4.4. Paralimpik Yüzme 24
4.5. Paralimpik Yüzmede Fonksiyonel Sınıflama Sistemi 31
4.6. Fonksiyonel Sınıflama Sisteminin Sınırlılıkları 33
5. GEREÇ ve YÖNTEM **36**
5.1. Araştırmanın Yeri ve Süresi 36
5.2. Araştırmanın Tipi 36
5.3. Araştırmanın Örneklemi 36
5.4. Çalışmaya Alınma ve Çıkarılma Kriterleri 37
5.5. Araştırmanın Hipotezi 38
5.6. Veri Toplama Yöntemi 38
5.7.Veri Toplama Araçları 41
5.7.1. Vücut Kompozisyonu Ölçümleri 41
5.7.2. Kinetik Ölçümler 42
5.7.3. Kinematik Ölçümler 47
5.8. Veri İşleme 49

5.9.Verilerin Analizi 50
5.10. Araştırmanın Sınırlılıkları 51
6. BULGULAR **52**
6.1. Tüm Ekstremiteler Serbest Yüzme Sırasında Kuvvet Dağılımı 52
6.2. Sağ Kol Bağlı Yüzme Sırasında Kuvvet Dağılımı 55
6.3. Sağ Bacak Bağlı Yüzme Sırasında Kuvvet Dağılımı 58
6.4. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kuvvetlerin karşılaştırılması 62
6.5. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kinematik verilerin karşılaştırılması 68
7. TARTIŞMA ve SONUÇ **80**
7.1.Amputasyonun Yüzme Kinetiğine Etkisi 80
7.2.Amputasyonun Yüzme Kinematiğine Etkisi 87
8.KAYNAKLAR **93**
9.ÖZGEÇMİŞ **113**

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

TES: Tüm ekstremiteler serbest

KSA: Kol simule ampute

BSA: Bacak simüle ampute

%: Yüzde işareti

Ort: Ortalama

SS: Standart sapma

SI: Simetri Indeksi

Y: Yaş

M: metre

Kg: Kilogram

Dk: Dakika

Sn: Saniye

ZK: Zirve kuvvet

OZK: Ortalama zirve kuvvet

OIM: Ortalama impuls

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında kol vuruşları ve bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 52

Şekil 2. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında kol vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 53

Şekil 3. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 53

Şekil 4. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında gövdede oluşturulan kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 54

Şekil 5. Kol simüle ampute yüzme sırasında sol kol vuruşu ve sağ ve sol bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 55

Şekil 6. Kol simüle ampute yüzme sırasında sol kol vuruşuyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 56

Şekil 7. Kol simüle ampute yüzme sırasında sağ ve sol bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 56

Şekil 8. Kol simüle ampute yüzme sırasında gövdede oluşturulan kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 57

Şekil 9. Bacak simüle ampute yüzme sırasında sağ ve sol kol vuruşları ve sol bacak vuruşuyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 58

Şekil 10. Bacak simüle ampute yüzme sırasında sağ ve sol kol vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 59

Şekil 11. Bacak simüle ampute yüzme sırasında sol bacak vuruşuyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 59

Şekil 12. Bacak simüle ampute yüzme sırasında gövdede oluşturulan kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı 60

Şekil 13. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde gövdede ölçülen ZK, OZK, OIM değerleri 65

Şekil 14. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol taraflarda ölçülen ZK, OZK, OIM değerleri 66

Şekil 15. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol vuruşu faz süreleri 69

Şekil 16. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen bacak vuruşu faz süreleri 69
Şekil 17. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol taraflarda ölçülen kol ve bacak vuruşu süreleri 72
Şekil 18. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol vuruşu faz uzunlukları 75
Şekil 19. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen bacak vuruşu faz uzunlukları 75
Şekil 20. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol taraflarda ölçülen kol ve bacak vuruşu süreleri 78

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1. Aktif Çekme Ölçümü 21
Resim 2. Motorize Destekli Çekme Sistemi 22
Resim 3. İpe Bağlı Yüzme Sistemi 23
Resim 4. Tüm Ekstremiteler Ergormetre Testi 24
Resim 5. Tüm ekstremiteler Serbest Yüzme 39
Resim 6. Sağ Kol Bağlı Yüzme 39
Resim 7. Sağ Bacak Bağlı Yüzme 39
Resim 8. Tüm Ekstremiteler Serbest Yüzme Koşulu 40
Resim 9. Kol Simule Ampute Yüzme Koşulu 40
Resim 10. Bacak Simule Ampute Yüzme Koşulu 40
Resim 11. Hareketli Makara Sistemi 43
Resim 12. Sabit Makara Sistemi 43
Resim 13. Tüm Ekstremiteler Serbest Ölçüm Düzeneği 44
Resim 14. Kol Simüle Ampute Ölçüm Düzeneği 44
Resim 15. Bacak Simüle Ampute Ölçüm Düzeneği 44
Resim 16. Deney Düzeneği 45

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Deneklerin Demografik Özellikleri 37

Tablo 2. Test Protokolü 41

Tablo 3. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ekstremiteler arası kuvvet yüzde dağılımları 61

Tablo 4. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ekstremiteler arası kuvvet simetri indeksi 61

Tablo 5. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerleri 62

Tablo 6. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması-A 63

Tablo 7. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması-B 64

Tablo 8. "Sağ Kol Bağlı" ve "Sağ Bacak Bağlı" gerçekleştirilen yüzme testlerinde gövdeden ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması 65

Tablo 9. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kolda ve bacakta ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması 66

Tablo 10. "Sağ Kol Bağlı" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacakta ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması 67

Tablo 11. "Sağ Bacak Bağlı" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kolda ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması 67

Tablo 12. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırışması 68

Tablo 13. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırışması-A 70

Tablo 14. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırışması-B 71

Tablo 15. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol ve sağ ve sol bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırılması 72

Tablo 16. "Sağ Kol Bağlı" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırılması 73
Tablo 17. "Sağ Bacak Bağlı" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol vuruşu sürelerinin karşılaştırılması 73
Tablo 18. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırışması 74
Tablo 19. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırışması-A 76
Tablo 20. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırışması-B 77
Tablo 21. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol ve sağ ve sol bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırılması 78
Tablo 22. "Sağ Kol Bağlı" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacak vuruşu uzunluklarınn karşılaştırılması 79
Tablo 23. "Sağ Bacak Bağlı" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol vuruşu uzunluklarının karşılaştırılması 79

1. ÖZET

Ampute Yüzücülerde Kinetik ve Kinematik Parametrelerdeki Değişimin Performansa Etkisi

Öğrenci Adı: Nejla GERÇEK

Danışman: Prof. Dr. Yaşar TATAR

Anabilim Dalı: Beden Eğitimi ve Spor

Amaç: Bu çalışmanın amacı, alt veya üst ekstremite ampute simülasyonunun serbest yüzme sırasında üretilen ilerletici kuvvetin büyüklük ve dağılımına etkisinin incelenmesidir. Ayrıca, ampute simülasyonunun kol ve bacak vuruşu kinematiğine etkisi de değerlendirilmiştir.

Gereç ve yöntem: Çalışmaya 15-25 yaş aralığında 11 sağlıklı erkek yüzücü dahil edilmiştir. Çalışma, yüzücülerin tek kollarının veya tek bacaklarının bağlanarak ampute simülasyonu yapması esasına dayanarak tasarlanmıştır. Yüzücülerden üç farklı yüzme koşulunda (TES: tüm ekstremiteler serbest, KSA: kol simule ampute ve BSA: bacak simüle ampute serbest yüzme) 10 saniye boyunca maksimum hızda yüzmeleri istenmiştir. Kabloya bağlı yüzme sistemiyle elde edilen zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve impuls değerleri, kameralar kullanılarak kol ve bacak vuruş süresi ve uzunlukları incelenmiştir.

Bulgular: Üç farklı koşulda yüzme sırasında, serbest ekstemitelerle üretilen zirve kuvvet ve gövdede üretilen zirve kuvvet ve impuls anlamlı oranda değişmiştir ($p<0,05$). Amputasyonun simüle edildiği koşullar karşılaştırıldığında ise, KSA yüzme sırasında gövdede oluşturulan impuls BSA'ya göre daha düşüktür ($p<0,05$). Serbest ekstremitelerin kinematiği değerlendirildiğinde, KSA serbest kol ve bacak tam döngü vuruş süresini anlamlı oranda değiştirirken ($p<0,05$), BSA sadece serbest bacağın aşağı vuruş süresini değiştirmiştir ($p<0,05$).

Sonuç: Kol simüle amputasyonuyla yüzme sırasında gövdede oluşturulan impulsun BSA'ya göre daha fazla azaltması, Uluslararası Paralimpik Komitenin tek taraf dirsek üstü ampute ve tek taraf diz seviyesi ampute olan yüzücülerin farklı yüzme sınıflarında yarışması gerektiği görüşünü desteklemektedir. Kol ve bacak simulasyonunun yüzme kinematiğini farklı şekillerde etkilemesi ise alt ve üst extremite amputasyonunun farklı kompasatuar stratejiler gerektirdiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: ampute, engelli, paralimpik, yüzme, sınıflama

2. SUMMARY

The Effects of Kinetic and Kinematic Parameter Changes on Front Crawl Performance in Amputee Swimmers

Student Name: Nejla GERÇEK

Name of Supervisor: Prof. Dr. Yaşar TATAR

Department: Physical Education and Sport

Objective: The objective of this study was to examine the effect of lower and upper limb amputee simulation on the magnitude and distribution of the propulsive force in front crawl swimmers. In addition, the effect of amputee simulation on arm stroke and leg kick kinematics has also been evaluated.

Material and methods: Eleven healthy male swimmers ages 15-25 years were participated in the study. Swimmers have been simulated amputees by restraining their single arms or legs. The swimmers were asked to swim at maximum speed for 10 seconds in three different conditions: normal (N-FCS), arm amputee simulated (ASA-FCS) and leg amputee simulated (LSA-FCS). Peak force, average peak force and average impulse values were examined using tethered swimming system and arm stroke and leg kick kinematic parameters were examined using cameras.

Results: There were statistically significant differences in peak force, average peak force and average impulse values of waist and unrestircted extremities between three swimming condition ($p<0,05$). When the amputee simulated conditions were compared, ASA-FCS has effected the average impulse values of waist more than the LSA-FCS ($p<0,05$). Comparing the arm stroke and leg kick kinematics of three swimming conditions, left arm stroke and left kick times were statistically different ($p<0,05$).

Conclusion: These results may support the decision of the International Paralympic Committee that single above elbow amputees and single thru knee amputees should compete in different swimming classes. The different effects of arm and leg simulation on swimming kinematics show that lower and upper extremity amputation requires different compasatory strategies during FCS.

Keywords: amputee, disabled, paralympics, swimming, classification

3. GİRİŞ VE AMAÇ

Yüzme yarışlarında sporcuların amacı, belirlenen yarış mesafesini en kısa sürede tamamlamaktır. Kazananın saliselik farklarla belirlendiği yarış performansı yüzücünün fizyolojik, morfolojik, psikolojik ve biyomekanik özelliklerinden etkilenir (Dyer ve Deans, 2017; Toussaint ve Beek 1992). Yüzme biyomekaniğinin araştırıldığı çalışmalar, kulaç/bacak vuruşu frekansı ve uzunluğunun incelendiği kinematik değerlendirmeler (Osborough, Payton ve Daly, 2010) ve ekstremitelerle üretilen kuvvetlerin incelendiği kinetik değerlendirmeleri içermektedir (Toussaint ve Beek 2002). Bu çalışmalarda, ilerletici kuvvetin büyük oranda kol vuruşuyla (Toussaint ve Beek 2002) üretildiği bildirilmiştir. Bacak vuruşu ile üretilen kuvvet oranı düşük olmasına rağmen, vücut salınımlarını azaltması (Gourgoulis et al., 2014) ve etkili kol vuruşuna katkısı (Deschodt, et al., 1999) yarış performansındaki önemini arttırmaktadır.

Engelli bireylerin yüzme hızı sağlıklı akranlarından %15-20 daha azdır (Lee, Sanders ve Payton, 2014). Engelliler sporunun popülerliğinin artması, bu bireylerde performansı geliştirmek ve adil yarışma koşulları sağlamak amacıyla yapılan çalışmaların sayısını da arttırmıştır. Ampute yüzme**,** paralimpik oyunlarda en fazla katılımcının bulunduğu branşlardan biridir. Amputelerde her bir ekstremite kaybı su içi ilerletici kuvveti oluşturan yüzey alanının azalmasına ve ilerletici kuvvetin azalmasına sebep olur (Payton ve Wilcox, 2006). Dirsek altı amputelerde tek taraflı ekstremite kaybının üretilen itici kuvveti %20 azalttığı bildirilmiştir (Lecrivain ve ark, 2010). Alt ekstremite amputasyonunun yüzme performansına etkisinin değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak sağlıklı yüzücülerde bacak vuruşunun yüzme hızını %10 arttırdığı bildirilmiştir (Deschodt, Arsac ve Rouard, 1999). Ayrıca, amputasyon sebebiyle vücut ağırlık merkezinin değişmesi denge ve posturu olumsuz yönde etkileyerek, vücudun su içerisinde aerodinamik pozisyonda konumlandırılmasını zorlaştırır (Payton ve Wilcox, 2006).

Ampute yüzücülerin yarış kategorileri, sporcuların çeşitli kara ve su testlerinden elde ettikleri puanlarla belirlenir. Fiziksel değerlendirmelerde sporcuların kas kuvveti, eklem hareket açıklığı vb incelenir. Teknik değerlendirmede su içerisinde yüzme sırasında yüzme tekniği puanlanmaktadır. Bunlara ek olarak müsabakalar

sırasında gözlemsel değerlendirmeler yapılmaktadır. Serbest yüzme kategorisinde yarışan bedensel engelliler, bu sınıflama sisteminde engel durumunun branşı etkileme oranına göre S1 (en ağır engellilerin yer aldığı) – S10 (en hafif engellilerin yer aldığı) kategorilerde yarışmaktadırlar (IPC, 2011).

Paralimpik oyunlarda ampute bireyler, etkilenmiş ekstremite sayısı ve seviye farklılıklarının hareket becerilerini etkileme oranlarına göre birkaç kategoride yarışmaktadırlar. Ancak, farklı amputasyon seviyeleri ve sayılarının yüzme performansına etkileri bilinmemektedir. Bu durumun incelenmesi Paralimpik yüzmede sınıflama sisteminin birbirine yakın gruplar arasında net bir ayrım yapamaması sorununu da açıklığa kavuşturabilir. Ayrıca farklı ekstremite kayıplarının alt ekstremite ve gövdeyi de kapsayan yüzme tekniği ve koordinasyonunda yarattığı etkiler henüz açıklığa kavuşmamıştır. Tüm vücudun bütün olarak değerlendirildiği çalışmalara ihtiyaç vardır.

Ampute bireylerde, üst ekstremiteler yüzme performansını alt ekstremiteye göre çok daha fazla etkilemesine rağmen aynı kategoride yarışabilmektedir. Bu sistemde dirsek altı amputeler, diz hizası ampute sporcuları ile aynı kategoride yarışmaktadırlar. Bunun yanında, dirsek üstü amputeler diz hizası amputelerden farklı kategoride yarışmaktadırlar. Güncel sınıflama sisteminde hiçbir engel türünün madalya kazanma ya da finale çıkmada avantajlı olmadığı bildirilmişken, ardışık sınıflar arasında net bir ayrım yapamadığı da bildirilmiştir. Bunun yanında, yapılan gözlemsel değerlendirmenin yeterli olmadığı deneye dayalı, objektif bir sınıflama sisteminin gerektiği de bildirilmiştir (IPC, 2007; Tweedy ve Vanlandewijck, 2011).

Bu çalışmanın amacı, yüzmede ekstremitelerin birinin yokluğunun, üretilen ilerletici kuvvetin büyüklük ve dağılımına etkisinin biyomekanik yöntemlerle araştırılmasıdır. Ayrıca, ekstremite kaybının kol vuruşu ve bacak vuruşu hareket kinematiğine etkisi de değerlendirilecektir.

4. GENEL BİLGİLER

4.1. Serbest Yüzme Tekniği

Serbest yüzme dört müsabaka stili arasında en hızlısıdır. Serbest yüzme sırasında bir döngü bir sağ ve bir sol kol vuruşu ve değişen sayılarda bacak vuruşunu içerir (Maglischo, 2003).

Serbest yüzmede bir kol vuruşu beş faza ayrılmıştır:

1. Kol girişi ve uzanma
2. Aşağıya süpürme ve yakalama
3. İçeri süpürme
4. Yukarı süpürme
5. Dinlenme (Maglischo, 2015).

Serbest yüzmede bir bacak vuruşu ise iki faza ayrılmıştır:

1. Aşağı Çırpma
2. Yukarı Çırpma

4.1.1. Kol Vuruş Fazları

Kol Girişi ve Uzanma

Bir kol suya girdiğinde diğeri, kol vuruşunun orta noktasındadır (Maglischo, 2003). Yüzücünün eli suya girerken dirseği fleksiyondadır ve avuç içi bir miktar dışarıyı göstermektedir. Bu sayede sporcu minimal direnç kuvveti ile karşılaşarak suya giriş yapmış olur (Maglischo, 2015). Suya giren kol daha sonra ileriye doğru tamamen ekstansiyona getirilir (Maglischo, 2003). Diğer kol vuruşu tamamlanana kadar giriş yapan kol horizontal aerodinamik bir pozisyonda bekletilir. Çekiş yapan kolun hareketini etkilememek için hiçbir kuvvet uygulamaz (Bozdoğan, 2005). Daha iyi bir aerodinamik pozisyon için, vücut uzanma sırasında suya giriş yapan tarafa doğru rotasyon yapmalıdır. Bu, kol vuruşu yapan taraftaki vücudun yukarı rotasyonuna sebep olacaktır. Böylece kulaç kolu yukarı süpürme sırasında çok uzağa hareket etmeden kalça ve bacakları geçerek yukarı süpürme yapacaktır. Bu şekilde, kulaç kolu yukarı

süpürme sırasında suya karşı daha etkili bir geri itiş yapacak ve daha fazla ilerletici kuvvet oluşturacaktır (Maglischo, 2003). Daha sonra, suya giren kol yakalama pozisyonuna gelene kadar fleksiyon yapar. Kolun suya giriş tekniği nefes alınan tarafla diğer taraf arasında bir miktar farklılık gösterebilir ve asimetri oluşabilir.

Aşağı Süpürme ve Yakalama

Aşağı süpürme fazının temel amacı kolu yakalama pozisyonuna taşımaktır. Bu faz, minimum kuvvet kullanılarak ve mümkün olduğunca hızlı yapılmalıdır. Aşağı süpürme el bileğinin eli aşağıya hareket ettirmek için bükülmesi ile başlatılır. Kol daha sonra ileriye ve aşağıya doğru eğrisel bir yolda süpürülür (Maglischo, 2003; Maglischo, 2015). Suyu geriye itmeye yönelik herhangi bir teşebbüs yüzücünün gereksiz bir şekilde suya aşağı itiş yapmasına sebep olacak, yüzücünün ileri hızlanması yavaşlayacaktır.

Yakalama pozisyonu, yüzücünün aşağı süpürme fazını geçip vücudunu öne doğru hızlandırmaya başladığı pozisyondur. Aşağıya süpürme hareketinden sonra dirseğin fleksiyonuyla elin dirsekle aynı hizaya geldiği pozisyondur (Bozdoğan, 2005). Her ne kadar kol çekişlerinin üst üste binmesi istenmeyen bir şey olsa da, arka kol en yüksek ileri hızlanmasını yakalar yakalamaz veya diğer bir değişle suya basınç uygulamayı bitirip dinlenme fazına geçer geçmez yüzücüler öndeki kolun içeri süpürme fazına hemen başlamalıdırlar. Kulacın bu noktasını daha basit bir şekilde açıklayacak olursak, sporcunun kolu kulacın 1/4 - 1/3'ünü tamamladığında veya yüzeyden 45 derece aşağıda olduğunda yakalama yapılmaya başlanmalıdır (Maglischo, 2015). Aşağı süpürme kulacın ileriye doğru sürmede gerekli bir fazı olmadığından, yakalama pozisyonuna ulaşılana kadar, kolu dirsekten derece derece (yavaş yavaş) fleksiyon yaparken yavaş bir şekilde aşağı ve öne uzanılmalıdır (Bozdoğan, 2005). Özetle, aşağı süpürme fazında hız kaybını azaltmak için:

1. Çekiş yapan kolda zirve hıza ulaşana kadar öndeki kolun aşağı süpürme fazına başlamasını geciktirmeli,
2. Çekiş yapan kol yukarı süpürme fazında zirve hıza olaştıktan sonra öndeki kollarına kaymalı,
3. Yakalama pozisyonuna ulaşılana kadar öndeki kolları ile ilerletici kuvvet uygulamamalı,

4. Tüm kulaç döngüsü boyunca aerodinamik vücut pozisyonunu korumalıdırlar (Maglischo, 2015).

İçeri Süpürme

İçeri süpürme fazı, yüzücünün kolu yakalama pozisyonuna ulaştığında başlar. Kol bu sırada fleksiyonda olmalıdır. Fleksiyondaki kolunu dirsek kaburgalara yaklaşıncaya kadar dışarıda ve yanda yarım daire şeklinde süpürerek suyu geriye çekmeye çalışır (Maglischo, 2015 ve Bozdoğan, 2005). İçeri süpürme fazı, kol geride ve neredeyse kaburgaların yanına geldiğinde ve el göğsün altına ve neredeyse vücudun orta hattına yakın bir pozisyona geldiğinde biter (Maglischo, 2015). İçeri süpürme, kulacın ilk ilerletici fazıdır. Çünkü yüzücünün kolu büyük ölçüde geriye yönlendirilmiştir (Maglischo, 2015). Daha sonra ilerletici kuvvet azalır, yukarı süpürme fazının etkili uygulanması için uygun pozisyon alınır, bu sırada hız kaybı olur. Hız grafiğinde ileri hızlanmanın içeri süpürmenin ilk bölümünde arttığı görülmektedir (Maglischo, 2003). İçeri süpürme fazı gerçekleştirilirken en önemli iki durum:

1. İçeri süpürme fazı kol fleksiyonda ve geriyi gösterir pozisyondayken başlar,
2. Yüzücüler kollarını yukarıya ve aşağıya yerine, yanda büyük horizontal yarım daire hareketi ile geriye süpürürler (Maglischo, 2015).

İçeri süpürmenin ikinci fazını kısaltan ya da ortadan kaldıran yüzücüler tek-zirveli ilerletici hıza sahip olurlar. İçeri süpürme fazında dirseğini kaburgalarına yaklaştıran yüzücüler ise iki-ilerletici-zirveli ileri hızlanma paterni sergilerler. İki zirveli hız paterninde iki ilerletici zirve hız oluşur: ilki içeri süpürme fazında (bunu yukarı süpürmeye transfer sırasında biraz yavaşlama takip eder), diğeri ise yukarı süpürme sırasında. İki zirveli serbest yüzme kulaç stilinin bir zirveliye göre daha fazla ilerletici kuvvet üretme potansiyeli yarattığı savunulmaktadır (Maglischo, 2015).

Yukarı Süpürme

Yukarı süpürme fazı, serbest yüzme tekniğinin ikinci ilerletici fazıdır (Maglischo, 2003). İçeri süpürmeyi tamamladıktan sonra, yüzücünün vücudunun altında dışarı, geriye ve su yüzeyine doğru yukarıya süpürerek dairesel bir geri itiş yapar (Bozdoğan, 2005). Bu, ileri hızda ikinci bir artış sağlar (Maglischo, 2015).

Yukarı süpürme sırasında, kolun hızlı bir şekilde ekstansiyona gittiği şeklinde bir kavram yanlışlığı vardır. Gerçekte, dirsekteki ekstansiyon miktarı yukarı süpürme sırasında minimaldir. Böylece yüzücü, yukarı süpürme tamamlanana kadar ön kol geriye yönünü korur (Maglischo, 2003). Bazı sporcular, en yüksek hızlarını yukarı süpürme fazında gösterirken bazıları içeri süpürme fazında en yüksek hıza ulaşabilirler (Maglischo, 2015).

Yukarı süpürme fazı, yüzücünün eli üst bacak hizasına geldiğinde biter. Bu pozisyondan itibaren, dirsek su yüzeyine doğru bükülmeli ve kol dinlenme fazına doğru öne ilerleyişine başlamalıdır. Yüzücüler, ellerini su yüzeyine çıkana kadar geriye ittirmemelidirler. Böyle bir hareket yapmak için, dirseklerini ekstansiyona getirmeleri gerekir. Bu durum, ön kollarının arka kısmı ile suyu yukarıya doğru itmelerine sebep olur. Bu itiş sonucunda, kalça aşağıya doğru itilir ve vücut dinlenme fazında yavaşlayacağından, hız kaybetmiş olur (Maglischo, 2003).

Elit yüzücüler, yukarı süpürmeden dinlenmeye geçişi, ön kol suya karşı geriye hareketini kaybettiği zaman sudan çıkmasına izin vererek gerçekleştirirler. Bu sırada, kol bir miktar fleksiyonda olmalıdır. Bu noktada yüzücü, elini arkadan öne doğru yuvarlamaya başlar. Yüzücü bunu yaparken avuç içini bacağına doğru çevirmelidir. Böylece dirsek fleksiyonda ve küçük parmağı önce sudan çıkacak şekilde ileri yönde hareket eder. Bu şekilde dinlenmeye geçiş yapmak, su ile etkileşimde olan yüzey alanını azaltır ve böylece çıkışta karşılaştığı direnç kuvvetleri azalır (Maglischo, 2015).

Dinlenme

Dinlenme fazı, genellikle kol sudan ayrılmadan önce başlar. Yüzücüler, kol üst bacağa yaklaştığında ve öne doğru hareket etmeye başladığında, geriye ittirmeyi durdurmalıdırlar (Maglischo, 2003). Yukarı süpürme fazından dinlenmeye geçiş, kol hareket yönünde, arkadan öne doğru kademeli bir değişimi içerir. Yüzücünün kolu, dirsek fleksiyonda iken, öne doğru hareket ederek suyun dışarısına kaymalıdır. Kol suyu terk ettiğinde, su üzerinde dirsek fleksiyonda omuzu geçene kadar rahat pozisyonda hareket etmeli, bu noktan sonra ekstansiyona gelerek suya giriş yapmalıdır (Maglischo, 2015). Dinlenme fazının amacı kolu diğer su altı hareket için hazır pozisyona getirmektir. Bu sebeple ilerletici bir faz olmamasına rağmen önemlidir.

Dinlenme fazının amaçları:

1. Lateral hizayı mümkün olduğunca az hareket ettirerek, kolu su yüzeyine çıkarmak,
2. Kol, omuz ve gövde kaslarının yükünü kısa bir süre azaltmak (Maglischo, 2003; Bozdoğan, 2005).

4.1.2. Bacak Vuruşu Fazları

Serbest yüzme bacak vuruşu (flutter kick), bacakların biri aşağıya doğru çırparken diğerinin yukarıya doğru çırpma yaptığı harekettir (Maglischo, 2003). Bu bacak vuruş mekaniğinin ilerletici kuvvete katkısı ve kulaç ile koordinasyon şekli, yüzmenin en az anlaşılmış elementleri arasındadır (Maglischo, 2015). Bacak vuruşunun temel yönü aşağıya ve yukarıdır, bu sebeple hareketler aşağıya çırpma ve yukarıya çırpma olarak adlandırılır. Bununla birlikte, bu çırpmaların lateral komponenti de bulunmaktadır (Maglischo, 2003). Bacak vuruşunun aşağı çırpma fazı büyük oranda ilerletici kuvvet üretmeden sorumludur. Yüzücülerin suya karşı geriye itiş yaparak ilerlediğinden, yukarıya ve ileriye doğru hareket eden yukarı çırpma ilerletici değildir (Maglischo, 2015). Bacak vuruşunun yukarıya çırpma fazı, bacağı aşağıya vuruş için uygun pozisyona getirir. Bacak vuruşlarının dışarıya hareketleri ise, vücudun stabilizasyonuna yardımcı olur (Maglischo, 2003). Yüzücü yüzme sırasında, bir bacağı yukarı hareket ettirirken diğer bacağı aşağıya hareket ettirdiğinden, hız grafiğinden hangisinin ilerletici kuvvette etkin olduğu belirlenemez (Maglischo, 2015).

Aşağı Çırpma

Aşağıya çırpma, kalça fleksiyonu ile başlayan ve diz ekstansiyonu ile devam eden kırbaçlama benzeri bir harekettir (Maglischo, 2003; Bozdoğan, 2005; Maglischo, 2015). Kalça fleksiyonu, yüzücünün ayağının ve alt bacağının vücudun arkasında konumlanmasını sağlar ve böylece aşağıya vuruş yüzücüyü daha hızlı ileriye taşır. Aşağıya vuruşunu takiben, bacak tekrar geri döner ve bir sonraki döngü başlar (Maglischo, 2015).

Aşağıya çırpmanın yüzücünün ayağı en yüksek pozisyonuna ulaştığında başladığı düşünülse de, durum böyle değildir. Aşağıya çırpma genellikle, bacak kalça hizasının üzerine çıktığında, yukarı çırpma sırasında başlar (Bozdoğan, 2005). Bu noktada yüzücüler, dizlerini bir miktar büker ve kalçalarını aşağıya doğru ittirirler. Bu sırada alt bacak istemsiz olarak suyun alttan uyguladığı basınç ile daha fazla fleksiyon pozisyonuna itilir. Bu hareket, yukarı çıkışın ivmesini azaltacağından, bacak hareketinin yön değiştirmesi, minimum kassal efor ile sağlanmış olur. Bacağın altındaki su basıncı, ayağı plantar fleksiyona getirir ve aşağı vuruş başladığında inversiyonuna sebep olur (Maglischo, 2003).

Sprinterlerin aşağı çırpma esnasında kalçalarını daha fazla ekstansiyona getirdikleri ve biraz daha derine kadar vuruş yaptıkları bildirilmiştir. Bu davranış, aşağıya vuruş ile ilerletici kuvvetlerini arttırmaya çalıştıklarını göstermektedir (Maglischo, 2015).

Yukarı Çırpma

Yukarı çırpma, yüzücünün bacağı rahatlamış ve ekstansiyon pozisyonunda iken, yavaşça yukarı salınımından oluşur (Maglischo, 2015). Yukarı çırpma fazının başlangıcı, bacağın aşağı ivmelenmesini yenmek ve yönünü aşağıdan yukarıya çevirmek için, bir önceki aşağı çırpmanın sonu ile çakışır. Yüzücü, alt bacağını aşağıya ekstansiyona getirdiğinde, üst bacağını yukarıya iten geri tepkime etkisi yaratır. Bu tepkime, yukarı çırpmayı başlatır. Bacak yukarı, ileriye ve vücudun rotasyon yaptığı yönün zıttına doğru dışarı süpürür. Yukarı çırpma fazı, bacak vücut hizasını geçtiğinde sonlanır (Maglischo, 2003; Bozdoğan, 2005; Maglischo, 2015).

Yukarı çırpma, bacak düz pozisyonda gerçekleştirilmelidir. Bu fazda, suyun aşağı yönde yaptığı basınç, bacağı ekstansiyonda tutacaktır. Alt bacak ve ayak da yukarı çırpma sırasında gevşemiş olmalı ve diz diğer aşağı çırpmada fleksiyona geçene kadar bu pozisyonu korumalıdır (Maglischo, 2003).

Zayıf bacak vuruşuna sahip yüzücülerin yaptıkları en yaygın hata, yukarı çırpma sırasında dizlerini fleksiyona getirmektir (Maglischo, 2003; Bozdoğan, 2005). Bu hareket, alt bacağının suya karşı yukarıya ve ileriye itiş yapmasına sebep olur, direnç kuvveti yaratır, ileri hızlanmayı yavaşlatır ve bazı istisnalarda yüzücünün geriye hareket etmesine sebep olur.

Bacak Vuruş Genişliği

Serbest yüzme bacak vuruşu (flutter kick), çok derin veya çok sığ olmamalıdır. Çok sığ olduğunda, vücut stabilizasyonu zorlaşacak ve ilerletici kuvvet azalacaktır. Çok derin olduğunda ise, direnç kuvveti artacaktır (Maglischo, 2003).

Aşağıya çırpma tamamlandığında, ayak vücut hizasının hemen altında olmalıdır. Bundan daha derine bacak vuruşu yapmak, ilerleyici kuvveti veya stabilizasyonu arttırmaz. Vücudun suya uyguladığı yüzey alanını arttırır. Suya karşı perdeleme yapmış olur ve hız azalır (Bozdoğan, 2005).

Bacaklar arası optimum genişliğin ne olması gerektiği bilinmemekle beraber, 50-80 cm olması gerektiği tahmin edilmektedir (Maglischo, 2003).

Bacak Vuruşu Ritmi

Bacak vuruş ritmi, bir tam kulaç döngüsü sırasında yüzücünün tamamladığı bacak vuruşu sayısını ifade eder. Bir bacak vuruşu, bir yukarı ve bir aşağı çırpmayı içerir. Böylece, bu iki çırpma kollar ve bacaklar arasındaki zamanlama tanımlanırken bir bacak vuruşu olarak hesaplanır (Maglischo, 2003).

En popüler ritm şekli, yüzücünün bir kulaç döngüsü esnasında altı bacak vuruşu yaptığı 6 çırpma bacak vuruşudur. Diğer popüler tempolar iki çırpma ve dört çırpma ritmidir (Maglischo, 2003; Bozdoğan, 2005; Maglischo, 2015).

Altı çırpma bacak vuruşu ritmi, en çok sprinterler tarafından kullanılmakta, birçok orta mesafe yüzücüsü ve çok az uzun mesafe yüzücüsü tarafından tercih edilmektedir. İki çırpma bacak vuruşu ritmi öncelikli olarak uzun mesafe yüzücüleri tarafından kullanılmaktadır. Dört çırpma ritmi çok sık kullanılmamakla birlikte bazı sporcular tarafından tercih edilmektedir (Maglischo, 2003; Bozdoğan, 2005).

Altı Çırpma Bacak Vuruşu

Bu ritm, bir kol vuruşunda 3 bacak vuruşunu veya bir kulaç döngüsünde altı bacak vuruşunu içerir. Altı bacak vuruşunda, her kulaç fazında bir bacak vuruşu gerçekleşir. Bacaklar ve kollar arasındaki zamanlama şu şekildedir:

1. Bir kolun aşağı süpürmesi esnasında aynı taraftaki bacak aşağıya vuruş yapar,
2. Bir kolun içeri süpürmesi esnasında diğer yöndeki bacak aşağıya vuruş yapar,

3. Bir kolun yukarı süpürmesi sırasında tekrar aynı taraftaki bacak aşağıya vuruş yapar,
4. Aynı döngü diğer kolun kulacı sırasında tekrarlanır ve bir kulaç döngüsü sırasında toplam altı bacak vuruşu yapılır (Maglischo, 2003; Bozdoğan, 2005; Maglischo, 2015).

Bacak vuruşu ve kol vuruşu fazları arasındaki ilişki, stabilizasyonu ve ilerleyici kuvvetleri etkiler. Oluşturduğu ilerleyici kuvvete ek olarak, içeri süpürme fazına eşlik eden bacak çırpmaları, vücudun kulaç koluna karşı dönmesine yardımcı olur. Yukarı süpürme fazına eşlik eden bacak vuruşu ise, bu faz sırasında üretilen toplam ilerleyici kuvvete katkı sağlar ve kolun yukarı hareketinin kalçayı aşağıya çekmesini engeller (Maglischo, 2003; Bozdoğan, 2005). Bir kol aşağı süpürme fazında iken aynı taraftaki bacağın aşağıya vuruşu, yüzücünün kulaçlar arası geçişte hızının yavaşladığı zaman bir miktar ilerleyici kuvvet üretir (Maglischo, 2003; Maglischo, 2015). Bir taraftaki bacakla aşağıya vuruş yaparken, diğer taraftaki bacakla yukarıya vuruş yapmak nefes aldıktan sonra yüzücünün yüz üstü pozisyona geri dönmesine yardımcı olur. En sondaki aşağıya vuruş, yukarı süpürme sırasında yüzücünün kolunun yukarıya hareketine karşı koyarak vücudun stabilizasyonuna yardımcı olur (Maglischo, 2015).

Kulaç ve bacak vuruşları arasındaki koordinasyon açıklandığından, bacakların her bir aşağı çırpma fazı başlangıç ve bitişinin, eşlik eden kol fazlarının başlangıç ve bitişine denk geldiği açıktır. Büyük bacak vuruşları büyük kol süpürmelerine eşlik eder. Kulaç süpürmesi küçük olduğunda, buna eşlik eden bacak vuruşu da daha küçük olacaktır. Bu durum, birçok altı çırpma bacak ritmi yüzücüsünün, her bir kulaç döngüsü sırasında neden büyük ve küçük bacak vuruşu yaptığını açıklamaktadır (Maslischo, 2003).

İki Çırpma Bacak ve Çapraz Bacak Vuruşu

Bu bacak ritminde, yüzücü her bir kulaç döngüsü sırasında iki bacak vuruşu gerçekleştirir (Maglischo, 2015). Bir bacak aşağıya çırpma yaparken diğer bacak aynı anda yukarıya çırpma yapacaktır. Kol su üzerinde dinlenme fazında iken ve yakalama pozisyonuna doğru aşağıya süpürürken, bacaklar açık ve ayrı bir pozisyonda asılı durur. Böylece, kol vuruşunun yavaşlama periyodu sırasında bacak vuruşları bir katkı sağlamaz (Maglischo, 2003).

İki çırpma bacak vuruşunda, yüzücünün bacak vuruşu altı çırpmaya göre daha büyüktür. Bu sebeple, aşağı bacak vuruşu kulacın içeri süpürme ve yukarı süpürme fazlarını kapsar. İki çırpma bacak vuruşu stili daha az enerji gerektirir (Maglischo, 2003; Maglischo, 2015). İki çırpma bacak vuruşu ritmi, serbest yüzmeyi kol dominant olarak gerçekleştiren yada iyi bacak vuruşu yapamayan sporcuların için idealdir. Bu ritm, bacak vuruşu ile enerji kaybetmeden, daha hızlı kulaç oranı yapmalarına imkan verir. Bu da, mesafe yüzücüleri tarafından tercih edilmesinin sebebini göstermektedir.

İki bacak çapraz ritmde ise, iki bacak vuruşuna benzer şekilde her bir kulaçta bir aşağıya vuruş gerçekleştirir. Ancak, her bir ana aşağı vuruş arasında kısmi bir aşağı vuruş uygulanır (Maglischo, 2015). Her bir kulak döngüsünde toplamda 4 bacak çırpması gerçekleştirilir: iki büyük aşağı çırpma ve iki küçük çapraz çırpma. İki büyük bacak çırpması iki çırpma ritminde açıklandığı şekilde bir kol hareketinin içeri süpürme ve yukarı süpürme fazlarına eşlik eder (Maglischo, 2003). Aşağı süpürme fazında ise bacaklar asılı kalmaz çapraz küçük çırpmalar yapılır. Bu çapraz çırpmalar, horizontal vücut pozisyonunu korumak için daha fazla bacak vuruşuna ihtiyaç duyan sporcular için daha az enerji harcayarak yüzme imkanı sağlar (Maglischo, 2015).

Dört Çırpma Bacak ve Çapraz Bacak Vuruşu

Bu bacak vuruşu stili, 6 vuruş ve 2 vuruş stillerinin kombinasyonudur. Yüzücü, bir kulaçta iki çırpma ritmini kullanırken, diğer kulaçta altı çırpma ritmini kullanır. Bir kulaç sırasında 6 bacak vuruşu ritmindeki gibi 3 bacak vuruşu yaparken, diğer kulaç sırasında 2 bacak vuruşu ritmindeki gibi bir aşağıya vuruş yapar. Genellikle, nefes aldıkları tarafta 6 vuruş ritmi diğer tarafta 2 vuruş ritmi uygularlar (Maglischo, 2003; Maglischo, 2015). Dört çırpma bacak vuruşu, her bir kulaç döngüsünde gerçekleştirilen bacak vuruşu sayısını azalttığından enerji tasarrufu sağlar, vücudun horizontal pozisyonunu korur, düz ve çapraz iki çırpma bacak vuruşun göre daha fazla ilerleyici kuvvet oluşturabilir. Yüzücülerin büyük bir kısmı iki çırpma ritmini nefes aldıkları tarafta kulaç atarken kullanmaktadırlar.

4.2.Serbest Yüzme Biyomekaniği

Suyun direnci havadan 800 kat fazla olduğundan, yüzme sırasında vücuda etki eden kuvvetler çok daha fazladır. Yüzücü ileri hareket ederken, hızlanmasına engel olan direnç kuvvetleriyle karşılaşır. Bu direnç kuvvetleri, yüzme hızı, vücut şekli ve sürtünmeden kaynaklı olarak değişebilir. Bununla birlikte, yüzücülerin ekstremiteleriyle suya karşı geriye doğru uyguladıkları kuvvet, kendilerini ileriye sürmelerini sağlar (Maglischo, 2003). Bu sebeplerden dolayı, yüzücüler iki şekilde hızlarını arttırabilirler; ekstremiteleriyle oluşturdukları ilerletici kuvvetin büyüklüğünü arttırarak ve ileri hareketlerini etkileyen su içerisindeki direnç kuvvetlerinin olumsuz etkilerini azaltarak (Toussaint ve Beek, 1992). Yüzme biyomekaniğinin araştırıldığı çalışmalar, kulaç/bacak vuruşu frekansı ve uzunluğunun incelendiği kinematik değerlendirmeler (Osborough ve ark., 2010) ve ekstremitelerle oluşturulan kuvvetlerin incelendiği kinetik değerlendirmeleri içermektedir (Toussaint ve Beek 1992).

Yüzücünün, ilerletici kuvvet üretme etkililiği, yüzme performansındaki önemi sebebiyle yıllardır ilgi odağı olmuştur. Çalışmalarda, üst ekstremitelerle üretilen kuvvetlerin ilerlemeyi katkısı yüksek olduğundan (%85) kol vuruş kuvvetleri araştırılmış (Toussaint ve Beek 1992), alt ekstremitenin ilerlemeye etkisi ikinci plana atılmıştır. Bunun sebebi, bacak vuruşunun görevinin ilerletici kuvvet üretmekten ziyade, vücudu suyun üzerinde iyi bir pozisyonda tutmak olduğunun düşünülmesi olabilir (Zamparo ve ark., 2009). Ancak, yapılan sınırlı sayıdaki araştırmada bacak vuruşunun da ilerletici kuvvete katkısının olduğu bildirilmiştir (Deschodt ve ark., 1999).

Deschodt ve arkadaşları (1999)'nın yapmış olduğu çalışmada, bacak vuruşunun yüzme hızını yaklaşık % 10 arttırdığı bildirilmiştir. Buna ek olarak, el bileğinin su içerisindeki hareket yörüngesi bacak vuruş hareketine göre uyarlanmıştır. Bu sebeple, bacak vuruşlarının, kol hareketleriyle üretilen ilerletici kuvvete de katkısı olduğu düşünülmüştür. Aynı çalışmada, sadece kollarla yüzmeyle %91 hıza ulaşılabildiği ve bir kolun kısıtlanmasının serbest yüzmeye göre maksimal yüzme hızında % 4 azalmaya sebep olduğu bildirilmiştir. Watkins (1983)'ün çalışmasında ise, alt ekstremitenin direk olarak ilerletici kuvvete katkısı olmadığı, ancak vücudun

pozisyonunun stabilize edilmesine katkısından dolayı yüzme hızını %9 arttırdığı bildirilmiştir. Diğer bir çalışmada da, yüzme esnasında bacakları kullanmanın ilerletici kuvveti arttırmadığı, ancak gövdenin inklinasyonu belirli oranda azalttığı (%13) bildirilmiştir. Bacak vuruşunun yüzme hızına etkisi, bacaklarla üretilen ilerletici kuvvetten ziyade vücudun inklinasyonunun azalmasına atfedilmiştir (Gourgoulis ve ark., 2014). Bunun yanında, bacak vuruş tekniğindeki bireysel farklılıklar da alt ekstremitelerin ilerletici hareketini etkileyebilir (Maglischo, 2003).

Swaine ve arkadaşları (2010) ise, bacak vuruşunun önceden belirtilenden daha fazla öneme sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan yeni yüzme makinesinin her ekstremite ile üretilen kuvveti ayrı ayrı ölçmesi, konuya yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Tüm ekstiremiteler serbest yüzme sırasında üretilen kuvvet, sadece kollarla veya sadece bacaklarla üretilen kuvvetten daha fazladır. Sadece kollarla ve sadece bacaklarla yüzme sırasında ölçülen kuvvetlerin toplamı %100 kabul edildiğinde, kol vuruşunun ve bacak vuruşunun tahmini katkısı erkeklerde sırasıyla %70.3 ve %29.7 ve kadınlarda sırasıyla %66.6 ve %33.4'tür. Bunun yanında, tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında ölçülen kuvvet ise erkeklerde % 84.4 ve kadınlarda % 86.9'dur. Erkek yüzücüler daha yüksek hızlara ulaşmak için kol vuruşlarıyla daha fazla kuvvet üretmeye çalışırlarken, kadın yüzücülerde yüzme hızı daha çok tüm vücut ortalama kuvvetiyle ilişkilidir (Morouço ve ark., 2015a).

Yüzme hızı daha yavaş olan kadın yüzücülerde bacak vuruşunun ilerletici kuvvete katkısının fazla olması, farklı yüzme hızlarında bacakların katkısını inceleyen çalışmanın sonuçlarına benzerdir. Gatta ve arkadaşları (2012)'nın yapmış olduğu çalışmada, yüzme hızı arttıkça bacakların ilerletici kuvvete katkısı azalmaktadır. Yavaş hızlarda bacak vuruş büyüklüğünün artması, bu ekstremitelerin yüzme performansına katkısını arttırmıştır. Ancak, aşırı bacak hareketleri de, vücudun aerodinamik pozisyonunu bozacağından, direnç kuvvetlerini arttıracağı ve yüzmeyi olumsuz yönde etkileyebileceği unutulmamalıdır (Zamparo ve ark., 2009).

İyi yüzücüler, bir kulaç döngüsünde iki kez zirve hıza ulaşmaktadır. Bu stil, daha çok kısa mesafe yüzücüleri tarafından kullanılmaktadır (Schnitzler ve ark., 2011). İlk ilerletici zirve içeri süpürme fazında, yüzücünün kolunu vücudun altına getirdiği esnada, ikincisi ise, yukarı süpürme fazında kolunu su yüzeyine doğru ittirirken

gerçekleşmektedir. Bunun yanında, uzun mesafe yüzücüleri tek zirveli stil kullanma eğilimindedirler.

Yüzme hızı ile oluşturulan zirve kuvvetler arasında anlamlı ilişki bulunamaması ve kuvvetteki değişikliklerin kuvvetin zaman içerisindeki impulsi ile hesaplanmasının önerilmesi (Morouço ve ark., 2014) yüzme analizlerinde zirve kuvvetten ziyade, eğrinin altında kalan alanın yüzücünün ileri hızlanmasında daha etkin olabileceğini göstermektedir. Bir kulaçta daha fazla ortalama ileri hız kazanma ya da uzun bir zaman periyodunda aynı ortalama ilerletici hız sağlama potansiyeli iki zirveli kulaçta daha fazladır (Maglischo, 2015).

Kabloya bağlı yüzme ve serbest yüzme arasında, kulaç oranı ve fizyolojik cevaplar açısından farklılık bulunmamıştır. Her kulaçta üretilen kuvvetin maksimum impulsu ve hız arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Yüzme hızının maksimum kuvvet ile ilişkisi nonlinear olmakla birlikte, maksimum impulsla olan ilişkisi lineardir. Kısa mesafe yüzücülerinde, etkili kuvvet uygulama yeteneğini değerlendirmede, her bir kulaçta üretilen maksimum impuls kullanılmalıdır (Morouço ve ark., 2014).

Kulaç fazları detaylı olarak incelendiğinde ise, en büyük ilerletici kuvvetler kulacın sonuna doğru (tüm kulaç zamanının %78'i) oluşturulmaktadır. Serbest stilde 1.66 m/sn hızla yüzerken üretilen etkili ilerletici kuvvet ellerde 48 N, ön kolda 24 N ve tüm kolda toplam 74 N'dur. Bunlara bacaklarla üretilen %15'lik ilerletici kuvvet de eklendiğinde yüzücüler direnç kuvvetlerini yenmek için üretilmesi gereken 83 N'luk kuvveti sağlarlar (Toussaint ve Beek, 1992).

Yüzme sırasında el paleti kullanılarak ilerletici alanın arttırılmasının, elin hızını azaltmasına rağmen, daha etkin kuvvet üretme sağladığı ve yüzme hızını arttırdığı bildirilmiştir (Gourgoulis ve ark., 2008). Ayrıca, paletin büyüklüğünün arttırılmasının, çekiş ve itişler esnasında elin sagital plandaki hızını azaltırken kulaç uzunluğu ve yüzme hızını arttırdığı bildirilmiştir (Gourgoulis ve ark., 2008). Bunun yanında, genç yüzücülerde kol kas alanının (kol antropometrisi ve triceps deri kıvrım kalınlığı), kol ile üretilen ilerletici kuvvet ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Dos Santos ve ark., 2012). Bu durum, yüzmede yüzey alanının arttırılmasının performansı geliştireceğini desteklemektedir. Paraşut kullanılarak direnç kuvvetlerinin arttırıldığı bir çalışmada da, ilerletici kuvvet fazının süresi ve oluşturulan ilerletici kuvvet artmış,

kulaç sıklığı azalmıştır (Schnitzler ve ark., 2011). Bu deneylerde, çeşitli yöntemlerle direnç kuvvetlerinin veya yüzey alanlarının arttırılması sırasında ölçülen kinematik değerlerin değişmesi, sonuçların gerçeği yansıtıp yansıtmadığını sorgulatmaktadır.

Serbest yüzmede, ilerletici kuvvet her ne kadar kollar ve nispeten bacaklarla üretiliyor olsa da, uygun vücut rotasyonları kulaç ve bacak vuruş mekaniğini etkileyeceğinden önemlidir. İdeal vücut rotasyonu, el hızı ve elin ilerletici kuvvet üretme potansiyelini arttırmaktadır (Payton ve ark., 1999). İyi bir vücut dönüşü ayrıca, elin ideal su içi hareket yörüngesini etkileyerek itme kuvvetini pozitif yönde etkiler (Barbosa ve ark., 2011). Vücut rotasyonlarının uygun olarak gerçekleştirilmesi, su yüzeyinde hidrodinamik vücut pozisyonunun korunmasını sağlar. Yanai (2001) çalışmasında, ideal vücut rotasyonlarını korumak için, belirli bir hıza mümkün olduğunca az kulaç oranıyla ulaşılması gerektiğini önermiştir. Dolayısıyla, performansın geliştirilmesi, kulaç sıklığının arttırmasından çok kulaç uzunluğunun arttırılması ile sağlanmalıdır.

Yüzme performansı, vücudun sağ ve sol tarafıyla üretilen ilerletici kuvvetlerin bir fonksiyonu olarak düşünülmektedir. Sağ ve sol vücut bölümlerinin ilerlemeye katkısının benzer olacağı düşünülse de, yüzme koordinasyonu (Chollet ve ark., 2000; Seifert ve ark., 2005) ve güçlü ve zayıf ekstremiteyle üretilen kuvvetlerin (Dos Santos ve ark., 2013) farklı olduğu bildirilmiştir. Oluşan bu asimetriler; bilateral kuvvet ve esneklik farklılıkları, dominant taraf, spor yaralanmaları, aşırı antrenman ve yorgunluk ve yüzme tekniğindeki alışkanlıklardan (nefes alma yönü vb.) kaynaklanabilmektedir (Sanders ve ark., 2011; Sanders, 2013).

Yüzücülerin %66.7'sinde kuvvet asimetrileri bulunmaktadır. Uygulanan kuvvetler ile yüzme performansı arasında güçlü ilişki bulunmakla birlikte, kısa mesafe yüzüşlerinde belirli bir miktar asimetrinin performansı olumsuz etkilemediği bildirilmiştir (Morouço ve ark., 2015).

Yeater ve ark. (1981) çalışmalarında, iki kol arasında zirve kuvvet farklılıkları olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer yöntemle gerçekleştirilen Keskinnen (1994)'in çalışmasında da, kollar arasında hız ve kuvvet farkının olduğu tespit edilmiştir. Yüzme esnasında gövdeden üretilen kuvvetlerin 200 m yüzme performansıyla ilişkili olduğu bir çalışmada da, vücudun güçlü ve zayıf tarafı arasındaki kuvvet anlamlı oranda birbirinden farklıdır (Dos Santos ve ark., 2017).

Bir taraftaki çekiş kuvvetinin diğer taraftakinden fazla olması, rotasyonel tork oluşturur ve vücut dönerek hizalanmasını bozar. Bu hizalanmanın vücut pozisyonunu etkilemesini engellemek için, el yörüngesinin değiştirilerek kompanse yapılabileceği bildirilmiş, ancak bunun da teknik asimetriye sebep olabileceği söylenmiştir. Seifert ve ark. (2005), dominant kolun temel olarak ilerletici kuvvet üretmek için, diğer kolun ise kontrol ve destek sağlamak için kullanıldığını söylemişlerdir. Sağ ve sol ekstremitelerle benzer ilerletici kuvvet uygulamak hidrodinamik direnç kuvvetlerini azaltmak için uygun vücut pozisyonu sağlayarak yüzme performansını olumlu yönde etkileyebilir (Sanders ve ark., 2011).

Tourney-Chollet ve arkadaşları (2009), serbest yüzmede yakalama fazından dinlenme fazına kadar olan kuvvet uygulama süresinin dominant kolda (%51.6) diğer koldan (%48.4) daha uzun olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışma, bilateral kuvvet farklılıklarının, fazların süreleri ve koordinasyonunu da etkilediğini göstermektedir. Dos Santos ve ark. (2013), elit yüzücülerin kollar arasındaki kuvvet farklılıklarının elit olmayanlara göre daha simetrik olduğunu bildirmişlerdir (elit 13N ve elit olmayan 18N). Kuvvet asimetrisin nefes almayla ilişkisi incelendiğinde ise, tek taraflı yada çift taraflı nefes almak asimetriyi farklı oranlarda etkilemiştir (Dos Santos ve ark., 2013).

Oliver ve ark. (2008) ise, yüzücülerde sol ve sağ kol izokinetik omuz kuvvetleri arasında %16 fark olduğunu bildirmişlerdir. Bunun yanında, kabloya bağlı yüzme sırasında sağ ve sol ekstremitelerle üretilen ilerletici kuvvetler arasında da %14.55 fark bulunmuştur (Dos Santos ve ark., 2013).

Karada yapılan kuvvet ölçümlerinin, yüzme performansını, yüzme sırasında ya da yüzme benzeri aktivitelerde yapılan ölçümler kadar iyi ölçemeyebileceği bildirilmiştir (Vorontsov, 2011). Yüzücüler, yüksek şiddetli egzersizlerde, üst üste binen kulaç koordinasyonu sergilediklerinden (Figueiredo ve ark., 2014) güncel ölçüm yöntemleriyle her bir kulaçta üretilen impulsun hesaplanması mümkün değildir. Ayrıca, üst ve alt ekstremitelerin aynı döngü içerisindeki etki oranını bildiren çalışmaların olmayışı da daha önce dikkat çeken konular arasındadır (Barbosa ve ark., 2011).

Yüzme performansını belirlemede, kinetik değerlendirmelerin yanında kinematik analizler de kullanılmaktadır. Kulaç uzunluğu ve kulaç frekansındaki

değişimler yüzme performansının değerlendirilmesinde kullanılan en önemli parametrelerdir. Kulaç kinematiğinin değerlendirildiği diğer bir parametre ise, kulaç indeksidir. Bu indekse göre, belirli bir hızda daha fazla kulaç uzunluğuna sahip yüzücü daha etkin bir yüzme tekniğine sahiptir (Barbosa ve ark., 2011). Teknik değerlendirmenin yanında, iyi yüzücülerde kulaç uzunluğunun arttırılmasının yüzme hızını arttırdığı bildirilmiştir (Seifert ve ark., 2007). Bunun yanında, yüksek kulaç frekansının, optimal koordinasyonun ve döngüler arası hız farklılıklarının az olmasının da serbest yüzmede yüksek kuvvet değerleri üretmek için gerekli olduğu bildirilmiştir (Riberio ve ark., 2013).

Serbest yüzmede, kol koordinasyonunun performansla ilişkili olduğu bilindiğinden, yüzücülerin kol koordinasyon stratejilerinin tespiti önemlidir. Üç çeşit kol koordinasyonu vardır: kulaçların ilerletici fazları arasında zaman boşluğunun olduğu yakalama paterni, bir kulacın ilerletici fazının bittiği anda diğer kulacın ilerletici fazının başladığı opposition paterni ve kulaçların ilerletici fazlarının üst üste bindiği superposition paterni (Seifert, Chollet, & Bardy, 2004). Bu paternler, yüzme hızı, yüzme uzmanlığı, kulaç oranı ve kulaç uzunluğu değiştikçe yakalama paterninden opposition veya superposition paternine değişebilmektedir (Chollet ve ark., 2000; Lerda ve ark., 2001). Bu çalışmada, kulaçların koordinasyonu video analiz yöntemi kullanılarak ölçülen kinematik verilerle incelenmiştir. Mevcut ilerletici kuvvet ölçüm yöntemleriyle (kabloya bağlı yüzme) ilerletici fazlarının üst üste bindiği durumlarda kulaçlar arası kuvvet farklılıkları tespit edilememektedir.

Seifert, Chollet ve Allart (2005) yapmış oldukları çalışmada, yüzücülerin birçoğunun asimetrik kol koordinasyonu ile yüzdüklerini bildirmişlerdir. Bu asimetri, sıklıkla nefes alma tarafına ve dominant tarafa bağlıdır. Ancak, daha sabit spatio temporal parametrelere sahip elit yüzücüler, uzman olmayan yüzücülere göre daha iyi koordinasyona sahiptirler, nefes alma sıklıkları azdır ve kol koordinasyonları nefes alma hareketlerinden daha az etkilenmiştir.

Lerda ve Cardelli (2003) ise, nefes alma yönünün kulaç koordinasyonunu etkilediğini bildirmişlerdir. Buna ek olarak, tek taraflı nefes alma tekniğini kullanan yüzücülerde, iki kolun ilerletici etkisi arasında fark bulunmuştur (Cardelli ve ark., 2000).

Yanai ve Hay (2000)'in çalışmasında ise, nefes alınan tarafta kulaç süresinin daha uzun olduğunu bildirilmiştir. Farklı seviyelerdeki yüzücülerde yapılan bu çalışmada, uzmanlık düzeyinin asimetriyi etkilemediği bildirilmiştir. Bilateral nefes alan yüzücülerde ise, asimetri tespit edilmemiştir. Buna zıt olarak, Payton ve ark. (1999) ise, elit yüzücülerde nefes almanın kulaç derinliği ve genişliğini etkilemediğini bildirmişlerdir (Payton ve ark., 1999). Cappaert ve ark. (1995)'da, iyi düzeydeki yüzücülerde, nefes almanın kol koordinasyonlarını ve üretilen ilerletici kuvvetleri etkilemediğini bildirmişlerdir.

Milli yüzücülerde, sadece kollarla yüzme sırasında yapılan bir çalışmada koordinasyon indeksi, ilerletici etkinlik ve maksimal yüzme hızı arasında korelasyon bulunmamıştır. Koordinasyonun yüksek hızlarda ilerletici kuvveti ölçmede önemli rolü olduğu bildirilmiştir. Bunun yanında, yüksek koordinasyon indeksinin yüksek ilerletici etkinlikle ilişkili bulunamaması, bireysel kuvvet ve güç üretim optimizasyonunun yüksek hızlara ulaşmada önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, farklı hızlarda yüzme sırasında, kollar arası koordinasyonun değişmesi direnç kuvvetlerini de değiştirmiştir (Seifert ve ark., 2015).

Tourney-Chollet ve arkadaşları (2009)'nın, çalışmalarında dominant kolun yakalama ve çekiş fazı sürelerinin dominant olmayana göre daha uzun olduğunu ve daha fazla kuvvet ürettiğini bildirmişlerdir. Bazı sporcularda, nefes alma yönü kuvvet simetrisi ve kulaç fazlarının süresi ile ilişkili bulunurken (sprint yüzücüleri) bazı yüzücülerde bu ilişki düşüktür (orta mesafe yüzücüleri).

Nefes alınarak ve nefes tutularak yüzme sırasında, her iki ölçüm koşullarında, su altı faz süresi değişmesine rağmen, benzer asimetrik kulaç kuvveti profili tespit edilmiştir. Nefes alınarak yapılan yüzmede, hızlı yüzücülerin kulaçlarının üst üste binme oranı yavaş yüzücülere göre daha azdır. Nefes tutarak yapılan yüzmede, hızlı yüzücülerin kulaçlarının üst üste binme oranı azalmış ve nefes alınan kol tarafında su altı fazı süresi azalmıştır (Formosa, Sayers, & Burkett, 2014).

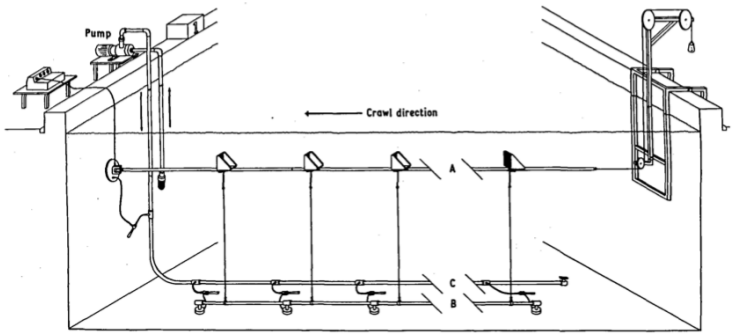
Yüzücülerde karşılaşılan fonksiyonel dengesizlikler aynı ortalama hızda tüketilen enerji miktarını arttırır (Figueiredo ve ark. 2014) ve hidrodinamik direnci arttırarak vücut postürünü olumsuz etkiler (Sanders ve ark. 2011).

4.3.Yüzme Sporunda Yapılan Kuvvet Ölçümleri

Yüzme performansının kuvvet ölçümleri ile değerlendirildiği çalışmalarda birkaç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin bazıları, oluşturulan ilerletici kuvvetleri ölçerken bazılarında ise vücuda etki eden direnç kuvvetlerini kullanarak değerlendirme yapılır. Yöntemler arasındaki diğer bir fark ise ölçüm ortamıdır. Ölçüm yöntemlerinde, su içerisinde ve su dışarısında dizayn edilen sistemler kullanılmaktadır.

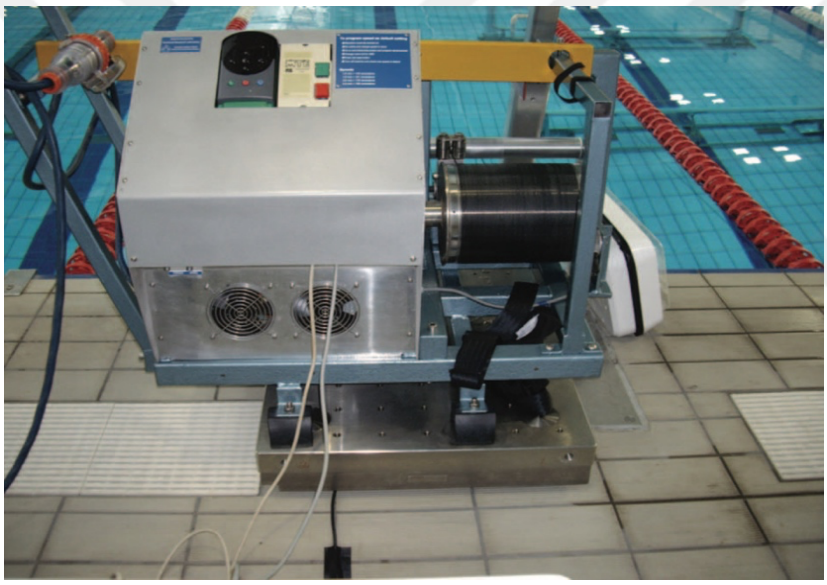
Su içerisinde yüzme sırasında yapılan kuvvet değerlendirmelerinde en sık kullanılan ölçüm yöntemleri; Aktif Sürükleme Ölçümü (Measurement of Active Drag), Destekli Çekme Sistemi (Assisted Towing System) ve İpe Bağlı Yüzme (Tethered Swimming) sistemleridir.

Aktif Sürükleme Ölçümü, yüzücünün elleriyle su içerisine yerleştirilmiş cihazlara itiş kuvveti uygulayarak ilerlediği sistemdir (Resim 1). Bu sistemde, su yüzeyinin altına boru yerleştirilir. Bu borunun yüksekliği ve tutamaçlar arasındaki mesafe yüzücünün kol vuruşunda ulaşacağı noktaya göre belirlenir. Yüzücü belirlenen yönde yüzerken sağ ve sol elleriyle bu tutamaçlara karşı itme ve çekme yapar. Yüzücü kol vuruşu sırasında bu tutamaçlara itiş veya çekiş yapar. Sisteme bağlı kuvvet dönüştürücülerle ölçüm gerçekleştirilir. Su yüzeyindeki borular (A), havuzun zeminine uygun kilitleme yöntemiyle sabitlenmiş borulardan gelen (B) iplerle dengelenir. Bir pompa ve esnek boru sistemi (C) vakum pompası olarak görev yaparak kilitleme sağlar. Bu sistemle borular duvara sabitlenmiş olur. Burada bulunan gerinim ölçer ile kuvvet ölçen düzenek ölçüm için kullanılır. Bu sistemin havuz dışındaki bölümüne ağırlıklar yerleştirilerek kalibrasyon gerçekleştirilir (Hollander ve ark., 1986).



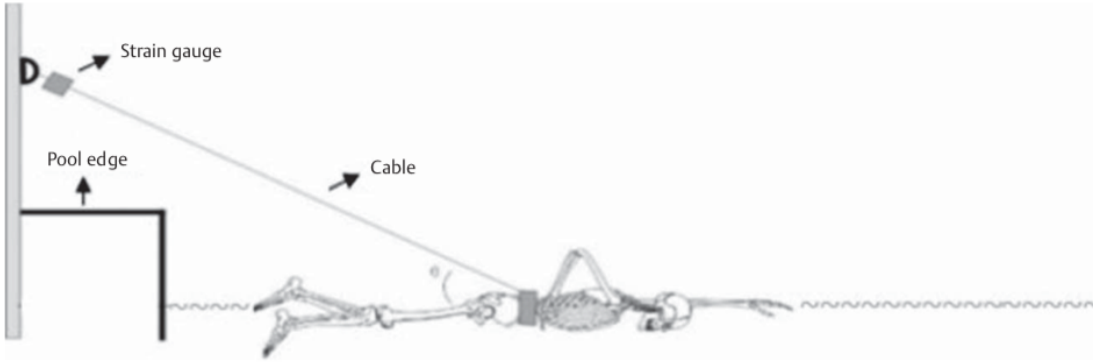
Resim 1. Aktif Sürükleme Ölçümü (Hollander ve ark., 1986)

Destekli çekme sisteminde, yüzücü belirli bir hızda düzeneğe doğru çekilirken oluşturduğu direnç kuvvetlerinin ölçülmesiyle değerlendirme yapılır (Resim 2) (Formosa ve ark., 2011). Bu sistemle oluşturulan net kuvvetler kuvvet platformuna bağlanmış motorize çekme makinesi ile ölçülür. Bu motorize çekme makinası çekme hızının programlanabilmesine olanak sağlar ve kuvvet platformu yüzücünün su içerisinde çekilmesi için gerekli net kuvveti ölçer. Bu sistemde yüzücünün, pasif bir şekilde suda yüz üstü uzanması sırasında oluşturduğu direnç kuvvetleri ve maksimum hızda yüzme sırasında oluşturduğu direnç kuvvetleri ölçülebilir. Yüzme sırasında yapılan ölçümlerde, çekme kuvvetinin değerldirilebilmesi için sisteminin hızının yüzme hızından daha fazla olacak şekilde ayarlanması önemlidir.



Resim 2. Motorize Destekli Çekme Sistemi (Farmosa, Mason ve Burkett, 2011)

İpe bağlı yüzme sisteminde, yüzücünün gövdesinden çıkış bloğuna esnemeyen bir kabloyla bağlandığı sırada oluşturduğu net ilerletici kuvvetler değerlendirilir (Resim 3). Kullanılan kablo ile başlangıç bloğu arasına yerleştirilen loadcell yüzücü tarafından uygulanan kuvveti ölçer. (Morouço ve ark., 2010; Dos Santos ve ark., 2013). Başlangıç sinyalinin verilmesinden sonra yüzücüler kablonun tamamen gergin olduğu horizontal bir pozisyona yerleşir ve düşük şiddetle 5 saniye yüzme yaparlar. Veri toplama kablonun ani gerilmesinin yarattığı etkisi elimine etmek için ilk maksimum kulaç döngüsünden sonra başlatılır (Morouço ve ark., 2015).



Resim 3. İpe Bağlı Yüzme Sistemi (Dos Santos ve ark., 2013).

Bu ölçüm sistemleri doğal yüzme ortamında gerçekleştirilmesi açısından değerlidir. Kullanılan bu yöntemlerle üst ve alt ekstremitelerin ürettikleri kuvvetler sadece bacak vuruşu ile yüzme veya sadece kol vuruşu ile yüzme protokolleri kullanılarak hesaplanabilmektedir. Ancak, alt veya üst ekstremitenin ayrı olarak ölçüldüğü kuvvetler toplamının tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında ölçülen kuvvetlerden fazla çıkması ölçüm sisteminin geçerliliğini düşündürmektedir. Bunun yanında, bu sistemler sağ ve sol uzuvlar arası kuvvetlerin hesaplanması, kulaçların üst üste binmesi sırasında ortak kuvvet üretilen zamanın bulunması sebebiyle sınırlıdır. Yüzme ergometreleri ise sağ ve sol ekstremitelerin karşılaştırılmasında kullanılan ölçüm sistemleridir.

Dört ekstremiteden ölçüm yapabilen tüm vücut yüzme ergometresi, üst ve alt ekstremitelerle üretilen kuvvetlerin aynı döngü içerisinde ölçülmesine olanak tanımaktadır (Resim 4). Bu sistemde su dışarısında ölçüm yapıldığından direnç kuvvetleri göz ardı edilmiştir. Her bir ekstremitenin harekete olan direnci dört hava direnci sistemiyle oluşturulur. Bu sistemden gelen kablolar yüzücünün el ve ayaklarına yerleştirilen pedallara bağlanır. Bacak vuruşuyla oluşturulan kuvvetler sadece kol vuruşları sırasında ölçülür, dinlenme zamanlarını içermez. Her bir hava direnci sisteminde dönüş devrini ölçen fotoelektrik sensor bulunur. Bu sensörlerle elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak uygun yazılım ile kayıt alınır (Swaine ve ark., 2010).



Resim 4. Tüm Ekstremiteler Ergormetre Testi (Swaine ve ark., 2010)

4.4.Paralimpik Yüzme

Paralimpik oyunlar, 2016 Rio'da 164 ülkenin katılımıyla 1.8 milyon biletin satılmasıyla gerçekleştirilmiş, engeli olan sporcular için düzenlenen en büyük spor organizasyonudur (Nicholson ve ark., 2018). Yüzme, paralimpik oyunlarda yüksek katılımcıya sahip branşlardan biridir. Rehabilitasyon etkisi ve uygulanması sırasında adaptif aparat gerektirmemesi gibi sebeplerle engelli bireyler tarafından yüksek oranda tercih edilen bir branştır. Yüzme tekniklerinin en hızlısı olan serbest yüzme paralimpik oyunlarda en fazla katılımcının olduğu kategoridir. Tüm kategorilerde yüzme hızı fonksiyonel sınıf ile sistematik olarak değişmekle birlikte ardışık sınıflar arasındaki farklar her zaman istatistiksel olarak anlamlı değildir. Performansa göre değerlendirme yapıldığında, serbest yüzme kategorisi sınıflandırmanın en adaletli uygulandığı kategoridir.

Ampute bireylerde alt veya üst ekstremitelerin yokluğu önemli bir ilerletici yüzey alanını kaybına sebep olduğundan ilerletici kuvvet üretme potansiyelleri sağlıklı akranlarına göre azaltır. Ekstremitelerin yokluğu yüzüstü veya sırt üstü pozisyonda yüzerken denge ve postürü de etkileyebilir. Alt ekstremite kaybı gövdenin hizalanmasını ve yüzme sırasında vücut pozisyonunun korunmasını etkilerken, üst

ekstremite kaybı ilerletici kuvvetleri büyük oranda etkiler. Yüzücülerin ekstremitelerinin tamamı ya da bir kısmı yoksa ilerletici kuvvet üretmek için var olan ekstremitelerin alanına itimat etmek zorundadırlar (Prins ve Murata, 2008). Bu amaçla farklı kompensatuar stratejiler geliştirmişlerdir (Osborough ve ark., 2009; Satkunskiene ve ark., 2005).

Yüzme yarışının sonucunu etkileyen en önemli parametreler; üretilen ilerletici kuvvetlerin büyüklüğü ve karşılaşılan direnç kuvvetlerinin küçüklüğüdür. Serbest yüzme tekniğinde ilerletici kuvvetin büyük bir bölümü (%80-85) kol vuruşu ile üretilmektedir (Deschodt ve ark., 1999; Toussaint ve Beek, 1992). Bacak vuruşunun ilerletici kuvvete katkısının ise %10 olduğu bildirilmiştir (Deschodt ve ark., 1999). Ampute yüzücüler kuvvet ürettikleri önemli bir yüzey alanını kaybettiklerinden sağlıklı yüzücülere göre dezavantajlıdırlar (Payton ve Wilcox, 2006). Bu durum, engelli yüzücülerin dünya rekorunun sağlıklı yüzücülerden %15-20 daha düşük olmasına sebep olmuştur (Lee ve ark., 2014). Engelli bireylerin suda karşılaştıkları pasif direnç kuvvetlerinin ise, engel seviyesi arttıkça artış gösterdiği bildirilmiştir. Engeli en ağır olan yüzücüler en yüksek direnç kuvveti ve bunun tersi olarak hafif engelli yüzücüler ise, en düşük direnç kuvveti ile karşılaşmışlardır (Oh ve ark., 2013). Bu da engelli yüzücülerin diğer bir dez avantajını göstermektedir.

Paralimpik yüzücülerde de, sağlıklı akranlarına benzer şekilde, üst ekstremite kuvveti yüzme hızı ile yüksek oranda ilişkilidir. Engel seviyesi arttıkça yüzücülerin üst ekstremiteleriyle ürettikleri kuvvet ve hız azalmıştır. Ekstremiteler arasında asimetrik kuvvet üretimi de, engel seviyesi ile ilişkili bulunmuştur (Dingley ve ark., 2014a). Kabloya bağlı yüzme yöntemiyle yapılan bir çalışmada, ampute yüzücüler sağlıklı akranlarıyla karşılaştırıldıklarında etkilenmemiş kollarıyla ürettikleri kuvvet sağlıklı akranlarının dominant kollarına benzerdir (Lee ve ark., 2014). Bunun yanında, sağlıklı akranlarından farklı olarak ampute tarafta kalan üst kolları ile de bir miktar kuvvet üretebildikleri bildirmiştir (Lecrivain ve ark., 2008). Yüzme sırasında iki kolun üst üste bindiği (overlapped) faz bulunduğundan (Seifert ve ark., 2005) kabloya bağlı yüzme ölçüm koşullarında her bir kol kuvvetinin bağımsız olarak ölçülmesi mümkün değildir. Bu yöntemle elde edilen sonuçlarda, iki kolun aynı anda ilerletici kuvvete katkı sağlaması göz ardı edildiğinden, elde edilen sonuçlar öngörüdür. Bunun yanında, sağlıklı yüzücülerde üst kolun ilerletici kuvvete etkisi olmadığı bildirilmişken,

bilgisayarlı akışkan dinamiği yöntemi ile gerçekleştirilen çalışmalarda ampute yüzücülerde üst kolda kalan uzuv parçasının da ilerletici kuvvete katkı sağladığı bildirilmiştir (Lecrivain ve ark., 2010; Lecrivain ve ark., 2008). Ancak, bu çalışmada ölçümler su içerinde yüzme sırasında değil bilgisayarda yaratılan ortamlarda gerçekleştirildiğinden sadece teorik olarak kanıtlanmıştır.

Kuvvetin yüzme hızı ile ilişkisinin incelendiği diğer bir çalışmada, tek kol ampute yüzücülerde gövdeden ölçülen kuvvetlerin yüzme hızı ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Lee ve ark., 2014). Bu çalışmada, sağlıklı yüzücülerde gövdeden ölçülen kuvvetlerin tek kol ampute yüzücülere göre daha yüksek olması, sporcuların engelinin yüzme performansına etkisini göstermesi açısından da değerlidir.

Paralimpik yüzme performansı kinematik analizlerle de incelenmiştir. Analizlerde kullanılan kinematik parametreler: yüzme hızı, kulaç uzunluğu ve kulaç frekansıdır. Bu parametreler, yüzme tekniği hakkında faydalı bilgiler sağlaması ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle tercih edilmektedir (Lee ve ark., 2014). Performans yüzücülerinde ise, ilerletici etkinlilik (Zamparo ve ark., 2009) ve kabloya bağlı yüzme esnasında yapılan kuvvet ölçümleri (Morouço ve ark., 2015s) gibi değerlendirmeler de önemli bilgiler sağlayacaktır.

Payton and Wilcox (2006), tek kol ampute yüzücülerde etkilenmiş kolun su altı çekişi sırasında gözlenen intra-cyclic yüzme hızındaki artışın aynı kolun omuz ekstansiyon hızıyla korele olmadığı bildirilmiştir. Bu sonuç, kulaç tekniğinin etkililiğini tayin etmede ekstremite hızından farklı olarak koordinasyon, su altı kulaç yörüngesi gibi diğer faktörlerin önemli olabileceğini göstermektedir.

Kollar arası koordinasyon, sağlıklı yüzücülerde kulaç oranı ve yüzme hızına bağlı olarak değişirken (Seifert ve ark., 2004), tek kol ampute yüzücülerde yüzme hızından etkilenmemiştir (Osborough ve ark., 2010). Uzuv yokluğunu telafi etmek için yüzücüler etkilenmiş kollarında sağlam kollarına göre daha uzun sürede yakalama pozisyonuna gelmişlerdir. Tek kol ampute yüzücüler, tüm kulaç döngüsünün istikrarlı tekrarını korumak için asimetrik bir kollar arası koordinasyon stratejisi kullanmışlardır. Daha hızlı yüzen sporcular ise, yavaş yüzenlere göre, etkilenmiş koluyla daha az yakalama pozisyonunda kalmış, kulaç frekansını arttırmıştır. Etkilenmiş kolda çekiş yapmadan önceki süreyi kısaltmanın yüksek kulaç frekansına ve yüzme hızına ulaşmada faydalı bir strateji olduğu görülmektedir. (Osborough ve

ark., 2010). Bunlara ek olarak, etkilenmiş ve sağlam kollar arasında dört farklı koordinasyon stratejileri gelişmiştir. Bu durum, ampute yüzücülerin aynı ampütasyon seviyelerine olduklarında dahi farklı telafi edici motor stratejiler geliştirdiklerini göstermektedir. Bu çalışmada ilerletici kuvvetler ölçülmediğinden, hangi stratejinin kulaç tekniğinde daha etkin olduğu bilinmemektedir (Osborough ve ark., 2010).

Kulaç oranı, tüm yüzme sınıflarında hem yüzme hızından hem de kulaç uzunluğundan daha istikrarlı sonuç vermektedir. Tek kol ampute yüzücüler kulaç frekansını arttırarak yüzme hızında kademeli artış sağlamışlardır (%75 in üzerindeki hızlar için). Sağlıklı yüzücülere benzer şekilde kulaç frekansındaki artış, kulaç uzunluğunun azalmasına eşlik etmiştir. Tek kol ampute yüzücülerin kulaç uzunlukları sağlıklı yüzücülerden daha kısadır. Maksimal yüzme hızı ile maksimal frekansın ilişkili olması daha hızlı yüzücülerin daha yüksek frekansa sahip olduklarını göstermektedir. Buna ek olarak, üst kol uzunluğu ile kulaç frekansı arasında pozitif yönde ilişki bulunmuştur. Bu sonuçlar, kuvvet üreten önemli bir uzuv yüzeyinin kaybedilmesinin yüksek yüzme hızına ulaşmada sağlıklı akranlarından farklı olarak kulaç uzunluğundan ziyade frekansının arttırmasının daha önemli olduğunu göstermektedir (Osborough ve ark., 2009).

Sağlıklı yüzücülerde kulaç uzunluğu önemli bir kinematik değerlendirme olarak kabul edilirken, engelli yüzücülerde sınıflar arasında kulaç uzunluğunda anlamlı farklılıklar bulunamamıştır. Bu sonuç, yüzücülerin sınıflara ayrıldığı bu sistemin istikrarsız ve subjektif olarak gerçekleştirildiğini göstermektedir. Kulaç uzunluğu, aynı sınıftaki yüzücülerde ve sınıflar arasında değişmektedir. Bahsi geçen çalışmada ayrıca, yüzme hızı S9 ve S10 sınıflarında kadınlar ile erkekler arasında değişiklik göstermektedir. Yüzme hızı kadınlarda S10 sınıfında daha yüksekken, bu değer erkek yüzücülerde S9 sınıfında daha yüksektir. Pelayo ve arkadaşlarının çalışmasında yüzme hızı engel oranının düşmesiyle artarken, bu çalışmada bu sonuç sadece kadınlarda gözlenmiştir. Erkek yüzücülerde S9 sınıfı daha fazla engeli olmasına rağmen S10 sınıfından daha hızlı yüzmüştür (Dziuba ve ark., 2013). Dziuba ve ark. (2013)'nın çalışması, sınıflar arasında yüzme kinematik parametrelerinde farklılıklar olduğunu göstermektedir.

Sağlıklı yüzücülerde bacak vuruşunun ilerletici kuvvete katkısının %10 olduğu bildirilmiştir (Deschodt ve ark., 1999). Ayrıca, bacak vuruşu yüzme esnasında

vücudun dönmesini kontrol etmede de etkin rol oynamaktadır (Yanai, 2001). Vücut dönüş hareketi üst kol ile üretilen ilerletici kuvveti arttıracağından alt ekstremite fonksiyonunun üst ekstremitelerle üretilen kuvvete de katkısı olduğu düşünülmektedir. Bacak ampütasyonu olan bir yüzücünün aynı yüzme performansındaki sağlıklı bir triatlete göre gövde fleksör ve ekstansör kaslarının daha uzun süreli aktive olması da alt ekstremite kaybında gövde kontrolünün zorlaştığını göstermektedir (Martens ve ark., 2011). Ampute yüzücüde etkilenmiş taraftaki gövde fleksör kas aktivitesinin etkilenmemiş tarafa göre daha fazla olması da asimetriye sebep olmuştur. Bacak ampute yüzücü, devamlı bacak vuruşu olmamasını kulaç oranını arttırarak ve kol fazları arasındaki süreyi kısaltarak telafi etmeye çalışmıştır.

Üst ekstremite amputelerde yüzme performansı, belirgin şekilde bacak vuruş hareketi ile ilişkilidir. Alt ekstremite amputeler ise, bacak vuruş paternlerini kol hareketlerine uyum sağlamak için modifiye ederler (Fulton ve ark., 2011). Bacak vuruşu sadece kollarla yüzmeye göre maksimal yüzme hızını arttırır (Deschodt ve ark., 1999). Farklı yüzme hızlarında bacak vuruşları incelendiğinde, yüzme hızı arttığında bacak vuruş oranı değişmezken ilerleyici kuvveti arttırdığı bulunmuştur (Fulton ve ark., 2011). Bu artışın, bacak vuruş uzunluğunun artışından kaynaklandığı bildirilmiştir. Daha büyük bacak vuruşu uzunluğu standart kullandıkları bacak vuruşu ve kısa bacak vuruşuna göre yüzme hızını daha fazla arttırmıştır. Ancak, bacak vuruşu uzunluğunun değiştirilmesinin direnç kuvvetlerini arttırabileceği sebebiyle kişinin kendi seçtiği bacak vuruş stilinin değiştirilmemesi gerektiği önerilmiştir.

Tüm ekstremiteler serbest yüzme ve sadece bacak ile yüzmede ilk 25 metredeki bacak vuruş sayısı arasında fark bulunmamıştır. Sadece bacakla yüzme sırasında bacak vuruş sayısı son 25. metre de %10.6 artmıştır. Üçüncü 25 metrede bacak vuruş oranı her iki grupta da azalmıştır. Serbest yüzme ile sadece bacakla yüzme arasındaki temporal özellikler karşılaştırıldığında farklılıklar bulunmuştur (Fulton ve ark., 2009a). Bu çalışmada elde edilen verilerde, S9 ve S8 kategorisinde yüzen sporcuların yüzme hızları ve bacak vuruş oranları benzerdir. Kol ve bacak amputasyonu olan bireyler karşılaştırıldığında ise bacak amputasyonu olanların yüzme hızlarının daha düşük ve bacak vuruş oranlarının daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Bacak vuruş oranı serbest yüzme performansının önemli bir faktörüdür. Sağlıklı alt ekstremitelere sahip kol amputasyonu olan yüzücüler sadece bacak vuruşu

ile yüzmede en hızlıdır ve en az bacak vuruşu oranına sahiptirler. Bacak amputasyonu olan yüzücüler, serbest ve sadece bacak yüzme esnasında en yüksek bacak vuruşu oranına sahiptirler. Bu durum, amputasyonu kompanse etmek için yapılan adaptif cevabı yansıtmaktadır. Bacak ampute yüzücülerin her iki denemede de daha fazla bacak vuruş oranına sahip olması vücudun stabilizasyonuna yardımcı olmak ve öne ilerlemeyi arttırmak için yapılan doğal adaptif bir cevaptır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, serbest yüzme becerisinin sınıflama ile direk olarak ilişkili olmadığı ancak kişinin engeli ile ilişkili olduğu ileri sürülmüştür (Fulton ve ark. 2009a).

Paralimpik yüzücülerin çıkış, dönüş ve bitirişleri Olimpik yüzücülere göre daha yavaş olmakla beraber bu sonuçlar yüzme hızlarının yavaş olmasıyla da doğrudan ilişkilidir (Daly ve ark., 2001). Ancak, paralimpik yüzme yarışlarının başlama, dönüş ve bitirme olarak ayrılıp incelendiği bir çalışmada engelli yüzücülerin yarış stratejilerinin Olimpik yüzücülere benzer olduğu bildirilmiştir (Burkett ve Mellifont, 2008). Engel türü ve seviyesinin yüzmede çıkış performansı üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada engel seviyesi düşük olan yüzücülerin orta ve yüksek olanlara göre çıkış fazlarının birçoğunda daha hızlı oldukları bildirilmiştir (Dingley ve ark., 2014b). Blok hızı, ağır engelli yüzücüler hariç, tüm engel gruplarında 15 metre yüzme zamanı ile ilişkili bulunmuştur. Alt ekstremite engelli veya ağır engeli olan yüzücüler, su altı fazında daha az zaman geçirmişlerdir. Ayrıca, engel seviyesi yüksek sporcuların blok hızının yüzme performansıyla ilişkili bulunmaması ve yine bu grubun su altı fazında daha kısa süre kalmaları çıkış performansı açısından dezavantajlı olduklarını göstermektedir. Bazı yüzme engel gruplarında, çıkış bloğundan başlayan sporcuların sudan başlayan sporcularla aynı kategoride yarıştırıldığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Sadece çıkış bloğundan başlayan sporcuların, sudan başlayan sporcularla aynı kategoride yarıştıkları S6 grubundaki yüzücülerin çıkış hızlarıyla yarış performansları yüksek ilişkili bulunmuştur. Bu durum, adaletli bir yarış için yüzücülerin mümkün olduğu tüm zamanlarda çıkış bloğu kullanması gerekliliğini göstermektedir (Daly ve ark., 2001). Bu çalışmada, dönüş hızının yüzme hızına etkisinin çıkışa göre daha fazla olduğu bildirilmiştir. Bu sonuçlar, yüzme mesafesi arttıkça uygulanma sayısı artan dönüşlerin sadece bir kez yapılan çıkış ile aynı puanda değerlendirilmesinin doğruluğunu sorgulatmaktadır. Yüzme çıkış tekniğinin engel seviyesi ile ilişkili

bulunduğu bu çalışmada, sınıflar arası korelasyonların istikrarsız dağılımı sınıflama sisteminin güvenilirliğini sorgulanması gerektiğini düşündürmektedir.

S10 ve S9 sınıfında yarışan sporcular, benzer çıkış mekanizması geliştirmişlerdir. Bu gruplar arasındaki tek fark, su altı gidiş hızıdır. S9 yüzücüler, engellerinin şiddeti daha fazla olduğundan (tam bacak amputasyonu vb), etkili bir vücut pozisyonu sağlamak için dengelerini düzenlerken daha fazla salınım yaparlar. Bunun yanında, sadece üst ekstremitesinin bir kısmını kaybetmiş S10 yüzücüler, Olimpik sporculara benzer su altı hızı gerçekleştirmişlerdir. Kol ve bacak amputasyonu olan kişilerde, başlama zamanları arasında fark yoktur. S10 ve S9 yüzücülerin blok zamanları benzerken, S8 yüzücüler daha yavaş blok zamanına sahiptirler. Olimpik sporcular, kol amputasyonu olan sporcularla karşılaştırıldıklarında benzer suya giriş mesafesine sahip oldukları bulunmuştur. Bacak ampute yüzücülerin bacak vuruş kabiliyeti azaldığından su altı mesafeleri daha kısadır. Paralimpik sınıfa bakılmaksızın her kategorideki yüzücüler, benzer su altı zaman mesafe değerleri oluşturmuşlardır. S10 sınıfındaki yüzücüler, Olimpik sporculara benzer su altı hızı oluştururken, S9 ve S8 sınıfındaki yüzücülerin hızları Olimpik sporculardan daha yavaştır. Serbest yüzme hızında ise S10 ve S9 benzer özellik gösterirken Olimpik ve S8 ler bunlardan farklıdır. Bu bulgular, S10 yüzücülerin su altında yüksek hıza ulaşabilmelerine rağmen bunu su üzerine geçişte transferi iyi yapamadıklarını göstermektedir. S9 ve S8 yüzücüler ise, su altından serbest yüzmeye geçerken en az hızı azalan kategorilerdir (Burkett ve ark., 2010).

Kadınlar ve erkekler için yüzme performansı, her yıl yaklaşık olarak % 0.5 gelişmektedir. Her bir yarışmada sporcunun yeteneklerinde düzenlemeler yapıldıktan sonra, müsabakalar arası ortalama performans zamanları arasındaki değişkenlik yaklaşık % 1'dir (Fulton, ve ark., 2009). Paralimpik yüzücülerde, yarışmalar arası performanstaki değişiklik, yaklaşık %2'dir ve bu sağlıklı genç milli yüzücüler (%1.4) ve Olimpik yüzücülerden (%0.8) çok daha yüksektir. Paralimpik yüzme performansının Olimpik yüzmeden daha değişken olması, engellerinin doğasıyla, kısıtlı sayıda uluslararası yarışmaya katılma imkanına sahip olmalarıyla ve sporun daha yavaş gelişmesiyle ilişkilidir (Daly ve Vanlandewijck, 1999). Daha ağır engele sahip yüzücüler, daha az fiziksel kısıtlılığa sahip yüzücülere göre, daha yüksek performans değişkenliği göstermişlerdir (Fulton ve ark., 2009b). Yüzme

performanslarının değişkenliği, gelişimi ve müsabaka seviyesi göz önünde bulundurulduğunda madalya şansını arttırmak isteyen paralimpik yüzücüler yıllık en az %1-2'lik bir gelişimi hedeflemelidirler.

Performansı geliştirmenin yanında, kronik sağlık problemleri olan engelli bireylerde spor yaparken, farklı sorunlara yol açmamak için önlemler de alınmalıdır. Fiziksel engelin doğası sebebiyle, paralimpik yüzücüler genellikle asimetrik antropometrik profil sergilerler. Asimetrinin sebebi genellikle bilateral kas iskelet profillerindeki farklılıklar, esneklikteki kısıtlılıklar ve kas dengesizlikleridir (Sanders ve ark., 2011). Asimetrinin yüzücülerin tekniğini değiştirebileceği ve kompensatuar bu hareketlerin daha ileri kas dengesizliklerine sebep olabileceği ve potansiyel yaralanma riskini arttırabileceği her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.

4.5.Paralimpik Yüzmede Fonksiyonel Sınıflama Sistemi

Paralimpik Oyunlarının evrensel yöneticisi Uluslararası Paralimpik Komitesidir. Bu komitenin en önemli görevlerinden biri, farklı engel türü ve seviyesindeki sporcuların adil bir şekilde yarışmasını sağlamaktır. Bu amaçla, her branşa özgü sınıflama sistemi düzenlenmiştir. Bu sınıflama sistemleri, sporcuların branşa uygunluğunu belirler ve sporcuları sahip oldukları engel türü ve seviyesinin yarışılan branşı etkileme oranına göre gruplandırır. Her bir sınıflama sistemi, engelin yarışma sonucuna etkisini en aza indirmek için, engel türü ve seviyesi açısından uygunluk kriterlerini tanımlamalı ve engel türünün branşın uygulanmasındaki etkisini tanımlayacak metodlar içermelidir (Tweedy and Vanlandewijck, 2011).

Yüzme, 2016 Rio Paralimpik Oyunları'nın popüler branşlarından biri olmuştur. Toplam 620 sporcunun katılımıyla gerçekleştirilmiştir (Nicholson ve ark., 2018). Paralimpik oyunlarda yüzme yarışlarına, bedensel engelli, görme engelli ve zihinsel engelli yüzücüler katılabilirler. Yüzmede bedensel engelli sporcuların yarış grupları, üç farklı incelemenin sonunda belirlenir:

1) Fiziksel Değerlendirmeler (yüzmeye özgü muayene):
    - Kas testi skorlarının değerlendirilmesi
    - Koordinasyon testi puanlarının değerlendirilmesi

- Eklem hareketliliği puanlarının değerlendirilmesi
- Ampute uzvun boyunun ölçülmesi
- Sporcuların boyunun ölçülmesi

2) Teknik Değerlendirmeler (yüzücünün yeteneğinin fonksiyonel tespiti)

Su testlerinde çıkış, yüzme (kulaç, gövde ve bacak vuruşu) ve dönüş tekniklerinden elde edilen puanlar değerlendirilir. Su testlerinde sağlıklı bir yüzücünün tam puan alacağı düşünülerek serbest yüzme tekniği 300 puan (kollar:130 puan, bacaklar:100 puan, gövde:50 puan, çıkış:10 puan, dönüş:10 puan) olarak oranlanmıştır.

3) Gözlemsel Değerlendirmeler (Yarışma sırasında yeteneğe odaklanılarak yapılan gözlem) (IPC, 2011)

Paralimpik yüzmede, serbest yüzme kategorisindeki bedensel engelli yüzücüler, fonksiyonel yeteneklerine göre 10 farklı grupta yarışırlar: S1 (en ağır engelliler) – S10 (en hafif engelliler) (IPC, 2011). Fonksiyonel özelliklerinin branşın uygulanabilirliğini etkileme oranına göre farklı engel türündeki bireyler aynı kategoride yarışabilirken aynı engel türünde fakat farklı engel derecesindeki bireyler de farklı kategorilerde yarışabilirler. Ampute sporcular, etkilenmiş ekstremite sayısı ve seviye farklılıklarının hareket becerilerini farklı oranlarda etkilemesi sebebiyle birkaç kategoride yarışmaktadırlar:

S3 Kategorisi:

- Dört ekstremitede amputasyonu

S6 Kategorisi:

- Aynı taraftaki dirsek ve diz üstü amputasyonu
- Her iki tarafta dirsek üstü amputasyonu
- Üç ekstremitede konjenital amputasyon
- Dismyeli ile uzunluğu kısa kollar (normalin 2/3'ü) ve diz üstü amputasyon
- Diz üstü amputasyon ve aynı yönde fonksiyonel olarak kısıtlı omuz

S7 Kategorisi:

- Her iki tarafta dirsek altı amputasyon
- Her iki tarafta diz altı amputasyon, ½ 'den kısa
- Zıt taraflarda dirsek altı ve diz altı amputasyon

S8 Katerorisi:

- Her iki tarafta diz üstü amputasyon, ½ 'den uzun
- Her iki tarafta dirsek altı amputasyon, ½ 'ten uzun olmayacak
- Tek taraf dirsek üstü amputasyon
- Çift el amputasyonu

S9 Kategorisi:

- Tek tarafta diz üstü amputasyon
- Tek tarafta diz amputasyonu
- Her iki tarafta diz altı amputasyon, ½'den uzun
- Tek tarafta dirsek amputasyonu
- Tek taraflı dirsek altı amputasyonu

S10 Kategorisi:

- Tek tarafta diz altı amputasyon
- Her iki tarafta ayak amputasyonu
- El amputasyonu, elin ½'sinin kaybı (IPC, 2011).

4.6.Fonksiyonel Sınıflama Sisteminin Sınırlılıkları

Sınıflama sistemi, engeli olan bireylerde spor yarışmalarının adaletli bir şekilde yürütülebilmesi için gereklidir. Bir sınıflama sisteminin adil sayılabilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir:

1) Yüzme performansı sınıflar arasında farklılık göstermelidir,
2) Aynı sınıftaki elit yüzücüler benzer performans sergilemelidir,
3) Farklı fiziksel engel türüne sahip elit yüzücülerin finallere katılma ve madalya kazanma olasılığı benzer olmalıdır (Wu ve Williams, 1999).

Güncel sınıflama sisteminde hiçbir engel türünün Paralimpik Oyunlara katılım, madalya kazanma ya da finale çıkmada avantajlı olmadığı, yüzücüler için adaletli bir yarışma sağladığı bildirilmiştir (Wu ve Williams, 1999). Bunun yanında, uygulanan sisteminin birbirine yakın sınıflar arasında net bir ayrım yapmadığını belirten araştırmalar da bulunmaktadır (Oh ve ark., 2013). Bu durum uygulanan sistemin deneysel bulgulardan ziyade ağırlıklı olarak sübjektif uzman görüşlerine

dayanmasından kaynaklanıyor olabilir. Araştırma sonuçlarındaki bu istikrarsızlık sebebiyle güncel sınıflama sisteminin adaletli ve objektif olup olmadığı sorgulanmış (Keogh, 2011) ve deneye dayalı daha objektif bir sınıflama sisteminin geliştirilmesi gerekliliği belirtilmiştir (IPC, 2007; Tweedy ve Vanlandewijck, 2011).

Sınıflama sisteminin yüzme performanslarını karşılaştırılarak değerlendirildiğinde güncel sisteminin adaletli bir yarış sağlamada etkili olduğu bildirilmiştir (Wu ve Williams, 1999). Performansa göre değerlendirme yapıldığında serbest yüzme kategorisi sınıflandırmanın en adaletli uygulandığı kategoridir. Yüzme hızının farklı engel gruplarında değiştiğinin bildirilmesi de bu sınıflama sisteminin adil bir yarışma koşulu sağladığını düşündürmektedir. Ancak, sporcunun antrenman geçmişinin yarışılan engel grubunda değişikliğe sebep olabileceği düşünülerek performans sınıflamasından ziyade yüzme hızı gibi performans çıktılarından ziyade fonksiyonel değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir (Tweedy ve Vanlandewijck, 2011). Bu nedenle, engeli olan yüzücülerde güncel sınıflama sisteminin etkililiği biyomekanik analizlerle delile dayalı olarak değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Adaletli bir sınıflama sisteminin araştırılması ve güncel sınıflama sisteminin sınırlılıklarının ortaya çıkarılması amacıyla yapılan kinetik analizlerde ekstremitelerle üretilen ilerletici kuvvetin performansa etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarda, engel seviyesi arttıkça üst ekstremitelerde üretilen kuvvetin ve gövdeden ölçülen tüm vücut ilerletici kuvvetinin azaldığı bildirilmiştir (Dingley ve ark., 2014a; Lee ve ark.., 2014). Bacak kuvvetinin engel seviyesine göre değişimini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Engelli yüzücülerde, üretilen ilerletici kuvvetin engel seviyesi ve yüzme hızı ile ilişkili bulunması yüzme sırasında üretilen kuvvetlerin ölçülmesinin sınıflama sisteminin güvenilirliğini arttırabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, birbirine yakın engel gruplarında yarışan yüzücülerin karşılaştıkları direnç kuvvetlerinin orantısız olması da güncel sınıflama sisteminin her zaman net bir ayırım yapamadığını göstermektedir (Oh ve ark., 2013). Yüzme çıkış tekniğinin engel seviyesi ile ilişkili bulunduğu Daly ve arkkadaşları (2001)'nın çalışmasında da engel grupları arasında korelasyonların istikrarsız dağılımı sınıflama sisteminin güvenilirliğini sorgulanması gerektiğini düşündürmektedir.

Delile dayalı sınıflama sistemine ışık tutması amacıyla yapılan kinematik çalışmalarda güncel sınıflama sisteminde kullanılan eklem hareket açıklığı (EHA)

testinin paralimpik yüzücüleri gruplandırmada güvenilirliği incelenmiştir (Evershed ve ark., 2012; Nicholson ve ark., 2018). Evershed ve ark. (2012)'nın yapmış oldukları çalışmada fiziksel değerlendirmede kullanılan pasif EHA testinin yüzme simülasyonu sırasında ölçülen aktif EHA ve kuvvet üretme kapasitesi ile zayıf ilişkili olduğunu tespit edilmiştir. Bu çalışmada yüzme sırasında ölçülen aktif EHA'nın pasif EHA'na göre kuvvet üretme ile daha yüksek oranda ilişkili olduğu da bildirilmiştir (aktif %31 ve pasif %21). Ayrıca, güncel sınıflama sisteminde EHA'nın pasif olarak ölçülmesi hareket kısıtlılığı olmasa da kas kuvvetsizliklerinden dolayı aktif EHA daha düşük olan engel grupları için dez avantaj yaratabilir. Aktif EHA'nın klasik sistemle ölçüldüğü bir çalışmada engeli olan yüzücülerin sağlıklı akranlarına göre daha düşük EHA'larının olduğu bildirilmiştir (Nicholson ve ark., 2018). Yapılan çalışmada dijital inklinometre ile yapılan ölçümlerin goniometre ile yapılan ölçümlere göre daha güvenilir olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmalar, 1990'lı yıllarda yürürlülüğe giren güncel sınıflamanın spor teknolojisi kullanılarak yapılan objektif ve pratik yöntemlerle revize edilmesi gerekliliğini göstermektedir. Buna ek olarak, sınıflama sisteminin amacı bireylerin sahip oldukları engelin yarışılan spora etkisi olduğundan (Tweedy ve Vanlandewijck, 2011). EHA ölçümlerinin standart ölçümlerden ziyade yüzme tekniğini etkileyecek pozisyonlarda gerçekleştirilmesi önemlidir.

5.GEREÇ VE YÖNTEM

5.1. Araştırmanın Yeri ve Süresi

Araştırmaya etik kurul ve tez öneri onayı alındıktan sonra başlanmış ve 36 ay içerisinde sonlandırılmıştır. Araştırma, İstanbul ilinde gerçekleştirilmiştir.

5.2. Araştırmanın Tipi

Araştırma, nicel araştırma yöntemlerinden biri olan deneysel bir model ile yapılmıştır.

5.3. Araştırmanın Evren ve Örneklemi

Araştırmaya, 15-25 yaş aralığında (yaş: 19.55±2.84, boy: 1.79±0.08, vücut kütlesi: 77.35±7.80) en az dört yıllık yüzme antrenman geçmişine sahip 11 sağlıklı erkek yüzücü dahil edilmiştir. Deneklerin demografik özellikleri Tablo 1' de gösterilmiştir. Tüm katılımcılar serbest yüzme tekniğinde yarışmaktadır. Bu çalışma, aynı uzvun ampute olduğu veya amputasyon seviyesinin benzer olduğu paralimpik yüzücü sayısının yetersiz olması sebebiyle sağlıklı yüzücülerin simüle ampute haline getirilmesi şeklinde yürütülmüştür. Bu yöntem, yürüme analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Goh ve ark., 1986; Fujishita ve ark., 2018). Bu amaçla, yüzme sırasında deneklerin dominant kol veya dominant bacakları kendi vücutlarına bağlanarak kısıtlanmıştır. Katılımcıların tamamı sağ ekstremiteleri dominant bireylerden oluşmaktadır.

Araştırmaya başlamadan önce Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar etik kurul onayı alınmış (Protokol Kodu: 09.2017.609), katılımcılar çalışmaya başlamadan önce araştırma hakkında bilgilendirilmiş ve yazılı onayları alınmıştır.

5.4. Çalışmaya Alınma ve Çıkarılma Kriterleri

Çalışmaya Alınma Kriterleri

- 15-25 yaş aralığında olmak
- En az 4 yıllık yüzme antrenmanı geçmişine sahip olmak
- Serbest yüzme kategorisinde yarışıyor olmak
- Yüzme performansını etkileyecek ek probleme sahip olmamak

Çalışmadan Çıkarılma Kriterleri

- Testlerin yapılacağı tarihlerde ölçümleri etkileyecek herhangi bir rahatsızlığı olmak
- Ölçümlerden önceki iki gün içerisinde yüksek şiddetli antrenman yapmış olmak
- Ölçümler esnasında umulmadık uyumsuzluklar
- Katılımcının gönüllü olarak araştırmadan ayrılması

Tablo 1. Deneklerin Demografik Özellikleri

N=11	Ort. *(SS)*
Yaş (yıl)	19.55 *(2.84)*
Boy (m)	1.79 *(0.08)*
Vücut Kütlesi (kg)	77.35 *(7.80)*
Kol Uzunluğu (cm)	60.36 *(3.19)*
On Kol Uz unluğu(cm)	26.88 *(1.72)*
El Uzunluğu (cm)	19.45 *(1.07)*
Bacak Uzunluğu (cm)	83.95 *(4.41)*
Alt Bacak Uzunluğu (cm)	43.02 *(2.56)*
Ayak Uzunluğu (cm)	26.53 *(1.47)*
Antrenman Yaşı (yıl)	9.55 *(3.33)*
En iyi 50 m derecesi (sn)	25.60 *(2.06)*

5.5. Araştırmanın Hipotezi

Araştırmada, serbest yüzme tekniğinde alt veya üst ekstremitelerden birinin amputasyonunun, üretilen ilerletici kuvvetin büyüklük ve dağılımına etkisi araştırılmıştır. Serbest yüzme sırasında ilerletici kuvvetin yüksek oranda üst ekstremitelerle üretilmesi sebebiyle, kol ampute simülasyonunun yüzme performansını daha fazla olumsuz etkileyebilir. Bu çalışmanın hipotezi, ekstremitelerden kolun yokluğu üretine itici kuvvetin büyüklük ve dağılımını ve kol ve bacak vuruşu kinematiğini bacağın yokluğuna göre daha fazla olumsuz etkiler.

5.6.Veri Toplama Yöntemi

Katılımcılar ve 18 yaşın altındaki katılımcıların ebeveynleri araştırmanın amacı hakkında bilgilendirilmiştir. Katılımcılara ve 18 yaşını doldurmamış katılımcıların velilerine, Helsinki Bildirgesi'ne göre hazırlanan bilgilendirme ve onay formu imzalatılmıştır. Katılımcıların araştırmaya katılımlarının uygunluğu çalışmada araştırmacı olarak bulunan Dr. Yaşar TATAR tarafından değerlendirildikten sonra testlere başlanmıştır. İlk olarak vücut kompozisyonu ve antropometrik ölçümler yapılmıştır. Yüzme performans testlerine başlamadan önce her bir katılımcıya karada dinamik ısınma ve suda yüzmeyi içeren 10 dakikalık ısınma egzersizleri yaptırılmıştır.

Serbest yüzme sırasında üretilen kuvvetler kabloya bağlı yüzme sistemi kullanılarak ölçülmüştür. Her bir ekstremitenin ürettiği kuvvet değerlendirmeleri ise Dr. Yaşar TATAR tarafından dizayn edilen ve kalibrasyonu yapılmış, kuvvet ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar ölçümlere, herhangi bir adaptif yüzme aparatı kullanmadan, yüzme kıyafetleri ile katılmıştır. Yüzme ölçümlerinden en az 2 gün önce yorgunluğun ortadan kaldırılması için yoğun antrenman yapmamaları temin edilmiştir. Elde edilen veriler oluşturulan veri toplama formuna kaydedilmiştir.

Yüzücülerin 3 farklı yüzme koşulunda 10 sn boyunca maksimum hızda yüzmeleri istenmiştir.

- Birinci koşul; tüm ekstremiteler serbest (Resim 5),
- İkinci koşul; kol simüle ampute (Resim 6),
- Üçüncü koşul ise bacak simüle ampute (Resim 7) şekilde kabloya bağlı serbest yüzmeyi içermektedir.



Resim 5. Tüm Ekstremiteler Serbest Yüzme



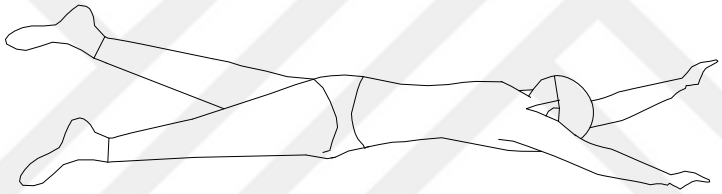
Resim 6. Kol Simüle Amputasyonuyla Serbest Yüzme



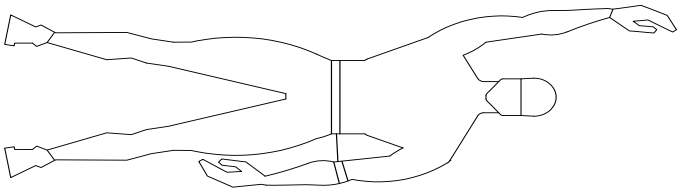
Resim 7. Bacak Simüle Amputasyonuyla Serbest Yüzme

Ölçümler öncesi sistemlere adaptasyon amaçlı, yorgunluk oluşturmadan yüzücülerin cihazı kullanmalarına/yüzme denemeleri yapmalarına izin verilmiştir.

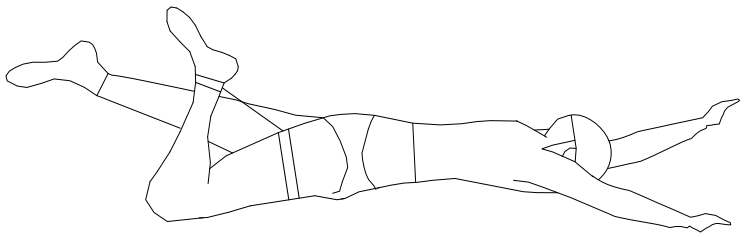
Her koşul uygulaması 3 tekrarlı yapılmıştır. Her tekrarda yüzücünün su içerisinde konumlanması ve maksimum efora ulaşması için 3 sn süre verilmiştir. Üç saniye sonunda, su içerisine ışık yansıtılarak eş zamanlı olarak ölçümlere başlanmıştır. Birinci koşulda tüm ekstremitelerin kullanıldığı normal, serbest yüzme performansı gerçekleştirilmiştir (Resim 8). İkinci koşulda, tüm kol dirsekten bağlanarak gövdeye sabitlenmiştir (Resim 9). İkinci koşulun, paralimpik yüzmede tek taraf dirsek üstü amputasyonu olan sporcuların yarıştığı S8 kategorisini simule ettiği kabul edilmiştir. Üçüncü koşulda ise, alt bacak ayak bileğinden uyluğa bağlanarak sabitlenmiştir (Resim 10). Üçüncü koşulun, paralimpik yüzmede tek taraf diz amputasyonu olan sporcuların yarıştığı S9 kategorisini simule ettiği kabul edilmiştir.



Resim 8. Tüm Ekstremiteler Serbest Yüzme Koşulu



Resim 9. Kol Simule Ampute Yüzme Koşulu



Resim 10. Bacak Simule Ampute Yüzme Koşulu

Yüzme testleri, yüzücünün gövdesine bağlı bir esnemeyen kablo ile load cell sistemine bağlandığı yüzme ölçüm sistemiyle (tethered swimming) gerçekleştirilmiştir. Her koşulda tekrarlar arası yeterli dinlenme sağlamak için 3 dk, farklı ölçüm koşulları arasında ise 10 dk dinlenme arası verilmiştir (Tablo 2). Her bir ölçüm koşulundan önce yüzücünün cihaza ve yüzme koşuluna alışması için bir kez uyum sağlama denemesi yaptırılmıştır.

Tablo 2. Test Protokolü

Uygulama Şekli	Uygulama Süresi	Tekrar Sayısı	Dinlenme Süresi
Tüm Ekstremiteler Serbest	10 sn	2 tekrar	3 dk
		10 dk dinlenme	
Sağ Kol Bağlı	10 sn	3 tekrar	3 dk
		10 dk dinlenme	
Sağ Bacak Bağlı	10 sn	2 tekrar	3 dk

5.7. Veri Toplama Araçları

5.7.1. Vücut Kompozisyonu Ölçümleri

Boy ölçümü: Mayo ile ayaklar çıplak ve topuklar bitişik, sırt duvara dönük ve baş karşıya bakar pozisyonda mezura ile ölçülmüştür.

Vücut ağırlığı: Mayo giyilmiş halde elektronik tartı (Tanita SC 330) kullanılarak ölçülmüştür.

Vücut ağırlığı ve boy ölçümlerine ek olarak aşağıda belirtilen uzunluk ölçümleri Uluslararası Antropometrik Ölçüm Standartlarına göre (Marfell-Jones, Stewart ve De Ridder, 2012) Dr. Fzt. Selda UZUN tarafından yapılmıştır.

Uzunluk ölçümleri:

- Kol uzunluğu: Acromion ve radius arasındaki mesafe ölçülmüştür.
- Ön kol uzunluğu: Ön kol supinasyonda iken radius ile el bileği arasındaki mesafe ölçülmüştür.
- El uzunluğu: Dirsek eklemi hafif fleksiyonda ve supinasyonda iken el bileği ve en uzun parmak arasındaki mesafe ölçülmüştür.

- Bacak uzunluğu: Trokhantor majorden tibianın lateraline kadar olan mesafe ölçülmüştür.
- Alt bacak uzunluğu: Tibianın lateralinden yere kadar olan mesafe ölçülmüştür.
- Ayak uzunluğu: Kalkaneus ile en uzun parmağa kadar olan mesafe ölçülmüştür.

5.7.2. Kinetik Ölçümler

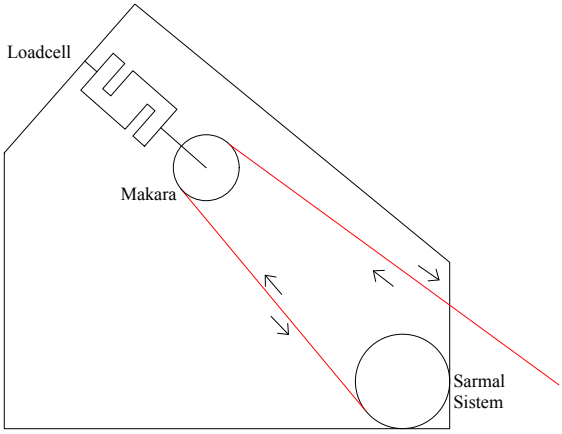
Serbest yüzme sırasında ekstremitelerde üretilen kuvvetler, kabloya bağlı yüzme (tethered swimming) esnasında, Dr. Yaşar TATAR tarafından her bir ekstremitenin oluşturduğu kuvveti değerlendirebilmek için özel olarak dizayn edilmiş kuvvet ölçüm cihaz ile değerlendirilmiştir.

Ölçüm sisteminin özellikleri;

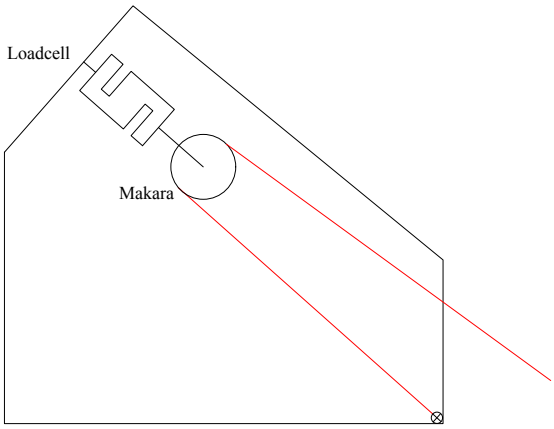
Kuvvet ölçüm cihazı beş ayrı düzenekten oluşmaktadır. Bu düzeneklerden iki tanesi sağ ve sol üst ekstemite kuvvetini, iki tanesi sağ ve sol alt ekstremite kuvvetini ve bir tanesi tüm vücudun ileriye gidiş kuvvetini (gövdeden bağlanarak) değerlendirmek için kullanılmıştır.

Her bir düzenek bir makara sistemi, bir loadcell ve esnemeyen kablodan oluşmaktadır. Üst ve alt ekstremitelerin kuvvetini değerlendirmek için dizayn edilen düzenekler hareketli makara sistemi kullanılarak (Resim 11), tüm vücudun ileriye gidiş kuvvetini değerlendiren düzenek ise sabit sistem kullanılarak (Resim 12) oluşturulmuştur. Ekstremitelerin kuvvetlerinin ölçüldüğü düzeneklerin her birine bir yaylı sarmal sistemi yerleştirilmiş ve bu sisteme esnemeyen kablo sarılmıştır. Sarmal sistemden gelen kablo loadcell ile ölçüm yapılan makara sisteminden geçirilmiş ve yüzücüye sabitlenmiştir. Tüm vücudun ileriye gidiş kuvvetini değerlendiren düzenekte ise sabit bir noktadan gelen esnemeyen kablo, loadcell ile ölçüm yapılan makara sisteminden geçirilmiş ve yüzücünün gövdesine sabitlenmiştir. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında; yüzücünün gövdesine bir sabit makara sistemi, sağ ve sol el bileklerine ve sağ ve sol ayak bileklerine birer hareketli makara sistemi olmak üzere toplamda beş adet kuvvet ölçüm sistemi kullanılmıştır (Resim 13). Kol simüle ampute yüzme sırasında; yüzücünün gövdesine bir sabit makara sistemi, sol el bileğine ve sağ

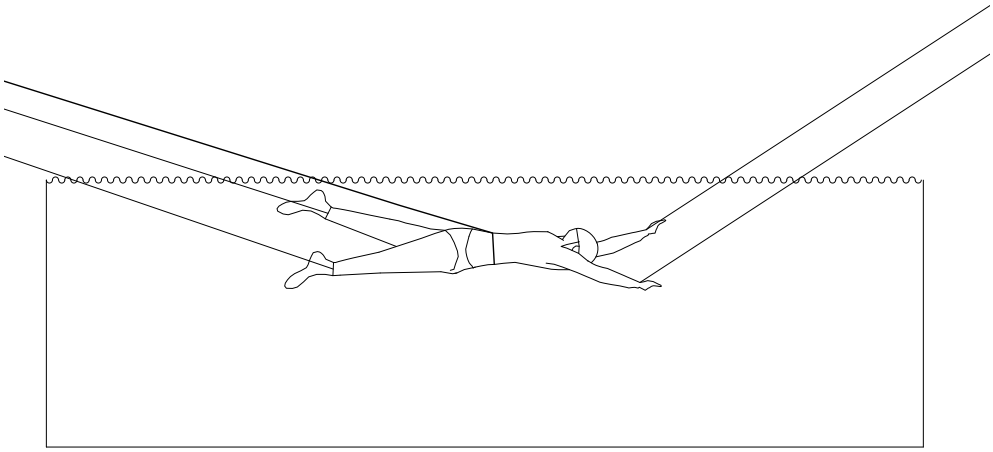
ve sol ayak bileklerine birer hareketli makara sistemi olmak üzere toplamda dört adet kuvvet ölçüm sistemi kullanılmıştır (Resim 14). Bacak simüle ampute yüzme sırasında; yüzücünün gövdesine bir sabit makara sistemi, sağ ve sol el bileklerine ve sol ayak bileğine birer hareketli makara sistemi olmak üzere toplamda dört adet kuvvet ölçüm sistemi kullanılmıştır (Resim 15). Üst ekstremite düzenekleri yüzücünün kol bileklerine ve alt ekstremite düzenekleri yüzücünün ayak bileklerine sabitlenmiştir. Gövdeden sabitleme işleminde kullanılan 3 m uzunluğundaki kablonun boyu sporcuyu ölçüm alanının ortasında konumlandırmak için ayarlanmıştır. Kuvvet ölçümü için her bir düzeneğe S tipi load cell (50 kg ölçüm kapasiteli) yerleştirilmiştir. Bu loadcellller makara sistemlerine monte edilmiştir (Resim 16). Ekstremite düzeneklerinden alınan load cell dataları örneklem hızı 50 Hz olarak PC30A Data Logger indikatör ile toplanmış, orijinal yazılımı kullanılarak bilgisayara kaydedilmiştir. Gövdeye bağlı düzenekten alınan load cell dataları ise CAS CI 3000A indikatör ile toplanmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Herbir loadcell'in kendi kalibrasyon değeri ilgili yazılıma işlenmiş ve kalibrasyonları yapılmıştır. Bütün düzeneğin çalışması farklı ağırlıklar kullanılarak verifiye edilmiştir.



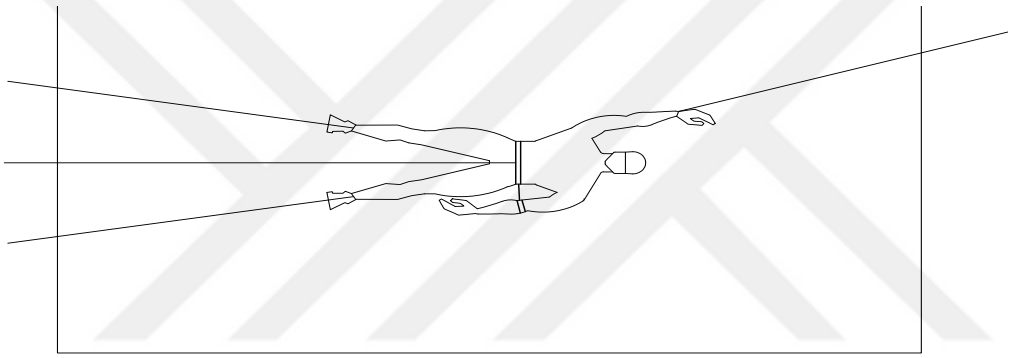
Resim 11. Hareketli Makara Sistemi



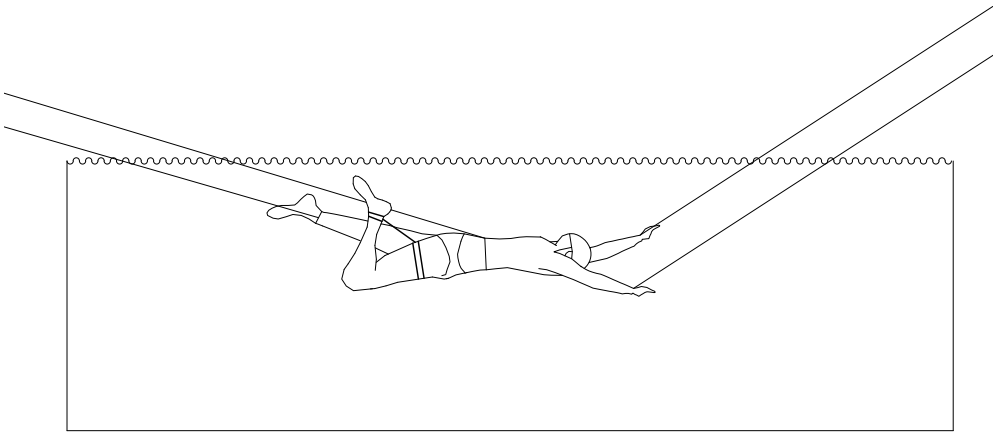
Resim 12. Sabit Makara Sistemi



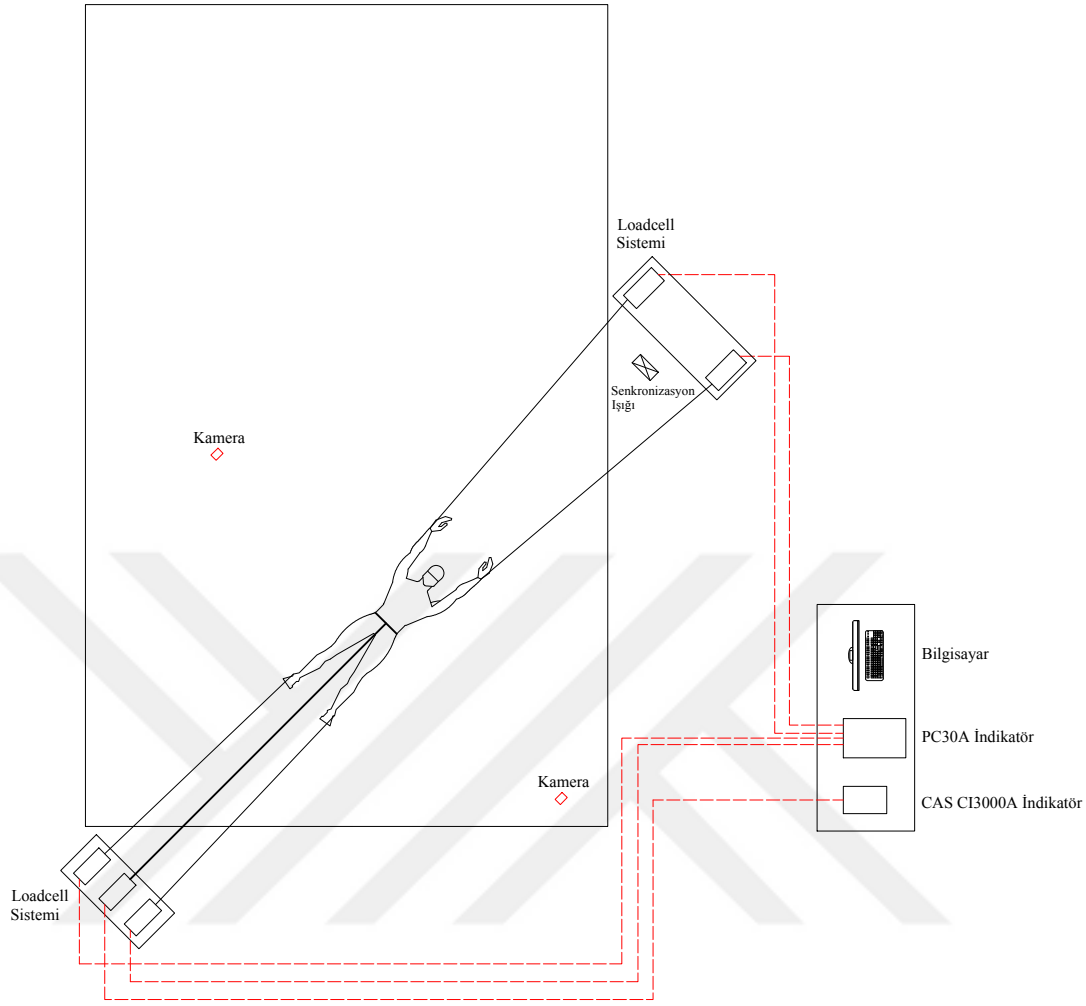
Resim 13. Tüm Ekstremiteler Serbest Ölçüm Düzeneği



Resim 14. Kol Simüle Ampute Ölçüm Düzeneği



Resim 15. Bacak Simüle Ampute Ölçüm Düzeneği



Resim 16. Deney Düzeneği

Yüzme siklusu boyunca ekstremitelerde izlenen veriler karşılaştırılmıştır. Katılımcıların kabloya bağlı yüzmeye adapte olmaları için yeterli alışma denemesi verilmiştir. Maximal 10 sn serbest yüzme performansı esnasında değerlendirme yapılmıştır. Katılımcıların maksimal eforu yakalamaları işin başlangıçta 3 sn verilmiş, daha sonra tetikleyici kullanılarak kayıt sisteminin başlamasıyla eş zamanlı suya ışık yansıtılmıştır.

Zirve kuvvet (ZK): Üst ekstremite analizi için değerlendirmeye alınan üç kol vuruşu sırasında oluşturulan en yüksek kol vuruşu zirve kuvveti ve alt ekstremite analizi için üç kol vuruşu sırasında oluşturulan en yüksek bacak vuruşu zirve kuvveti kullanılmıştır.

Ortalama Zirve Kuvvet (OZK): Üst ekstremite analizi için değerlendirmeye alınan üç kol vuruşu sırasında oluşturulan kol vuruşu zirve kuvvetlerinin ortalaması ve alt ekstremite analizi için üç kol vuruşu sırasında oluşturulan dokuz bacak vuruşunun en yüksek zirve kuvvetlerinin ortalaması kullanılmıştır.

Ortalama İmpuls (OIM): Üst ekstremite analizi için değerlendirmeye alınan üç kol vuruşu sırasında oluşturulan kol vuruşu kuvvet alanının ortalaması ve alt ekstremite analizi için her bir kol vuruşunda oluşturulan bacak vuruşları kuvvet alanının ortalaması kullanılmıştır.

Kol ve Bacak Vuruşu Değerleri Yüzde Farkları: Farklı yüzme koşullarında zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve ortalama impuls değerlerinin yüzde farkları hesaplanmıştır. Her bir ekstremite ve gövdeden elde edilen verilerin zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve ortalama impuls yüzde farklarının hesaplanmasında şu formüller kullanılmıştır;

Tüm ekstremiteler serbest (TES) ve kol bağlı (KSA) yüzme arasındaki fark

= ((KSA değeri – TES değeri) / TES değeri) x 100

Tüm ekstremiteler serbest (TES) ve bacak bağlı (BSA) yüzme arasındaki fark

= ((BSA değeri – TES değeri) / TES değeri) x 100

Kol ve Bacak Vuruşu Değerleri Yüzde Dağılımları: Her bir yüzme koşulunda oluşturulan zirve kuvvet ve ortalama impuls değerlerinin her bir ekstremitelerdeki yüzde dağılımları hesaplanmıştır. Her bir yüzme koşulundaki yüzde dağılım hesaplamasında şu formüller kullanılmıştır;

Sağ kol zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve ortalama impuls dağılımı

= (sağ kol zirve kuvvet değeri x 100) / tüm ektremitelerle oluşturulan zirve kuvver değerleri toplamı)

Sol kol zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve ortalama impuls dağılımı

= (sol kol zirve kuvvet değeri x 100) / tüm ektremitelerle oluşturulan zirve kuvver değerleri toplamı)

Sağ bacak zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve ortalama impuls dağılımı

= (sağ bacak zirve kuvvet değeri x 100) / tüm ektremitelerle oluşturulan zirve kuvver değerleri toplamı)

Sol bacak zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve ortalama impuls dağılımı

= (sol bacak zirve kuvvet değeri x 100) / tüm ektremitelerle oluşturulan zirve kuvver değerleri toplamı)

Sağ ve Sol Ekstremiteler Arası Simetri İndeksleri: Her bir yüzme koşulunda sağ-sol kol vuruşları ve bacak vuruşları arasındaki simetri hesaplanmıştır. Her bir yüzme koşulundaki simetri indeksi hesaplamasında şu formüller kullanılmıştır;

Sağ-sol kol vuruşu zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve ortalama impuls simetri indeksi = ((sağ kol değeri – sol kol değeri) / (0.5 x (sağ kol değeri + sol kol değeri))) x 100

Sağ-sol bacak vuruşu zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve ortalama impuls simetri indeksi = ((sağ bacak değeri – sol bacak değeri) / (0.5 x (sağ bacak değeri + sol bacak değeri))) x 100

5.7.3. Kinematik Ölçümler

Serbest yüzme sırasında üst ve alt ekstremitelerdeki kinematik değişimler kameralar kullanılarak ölçülmüştür.

Kinematik değerlendirmeler için yüzücülerin yüzme alanına dik gelecek sekilde her iki yanına kameralar yerleştirilmiştir (GoPro Hero 5). Video kayıtları manuel tetikleyici kullanılarak kuvvet dataları ile senkronize olarak başlatılmıştır.

Kol ve bacak vuruşu süre ve uzunluk hesaplamalarında kinetik analizlerde değerlendirmeye alınan üç kol vuruşu ve dokuz bacak vuruşu ortalama değerleri kullanılmıştır.

Kol Vuruşu Süresi: altı faza bölünerek değerlendirilmiştir.

- Giriş - yakalama fazı süresi: El bileğinin suya girişinden elin geriye çekiş hareketinin başlamasına kadar geçen süre kaydedilmiştir.

- Yakalama - 90° fazı süresi (Çekiş fazı süresi): Elin ilk geriye çekiş hareketinin başlamasından kolun omuzun altına dik geldiği pozisyona kadar geçen süre kaydedilmiştir.

- 90°- çıkış fazı süresi (İtiş fazı süresi): Kolun omuzun altına dik geldiği pozisyondan el bileğinin suyun dışına çıktığı pozisyona kadar geçen süre kaydedilmiştir.

- Su altı fazı süresi: El bileğinin suya girişinden sudan çıkışına kadar geçen süre kaydedilmiştir

- Su üstü fazı süresi (Toparlanma fazı süresi): Dirsek ekleminin sudan çıkışından el bileği ekleminin tekrar suya girdiği pozisyona kadar geçen süre kaydedilmiştir.

- Tüm kol vuruşu süresi: El bileğinin suya girdiğinden ikinci kez suya girişine kadar geçen süre kaydedilmiştir.

Bacak Vuruş Süresi: üç faza bölünerek değerlendirilmiştir.

-Aşağı çırpma fazı süresi: Ayağın en yukarıda olduğu noktadan, su içerinde en derinde bulunduğu pozisyona kadar geçen süre kaydedilmiştir.

-Yukarı çırpma fazı süresi: Ayağın su içerinde en derinde bulunduğu noktadan, en yukarıda olduğu pozisyona kadar geçen süre kaydedilmiştir.

-Tüm bacak vuruşu süresi: Ayağın en yukarıda olduğu pozisyondan tekrar ek yukarıda olduğu pozisyona gelene kadar geçen süre kaydedilmiştir.

Kol Vuruşu Uzunluğu: yedi faza bölünerek değerlendirilmiştir.

- Giriş - yakalama fazı uzunluğu: El bileğinin suya girişinden elin geriye çekiş hareketinin başlamasına kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir.

- Yakalama - 90°fazı uzunluğu (Çekiş fazı süresi): Elin ilk geriye çekiş hareketinin başlamasından kolun omuzun altına dik geldiği pozisyona kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir.

- 90° - çıkış fazı uzunluğu (İtiş fazı süresi): Kolun omuzun altına dik geldiği pozisyondan el bileğinin suyun dışına çıktığı pozisyona kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir.

- Su altı fazı uzunluğu: El bileğinin suya girişinden sudan çıkışına kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir

- Su üstü fazı uzunluğu (Toparlanma fazı süresi): Dirsek ekleminin sudan çıkışından el bileği ekleminin tekrar suya girdiği pozisyona kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir.

- Tüm kol vuruşu uzunluğu: El bileğinin suya girdiğinden ikinci kez suya girişine kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir.

Bacak Vuruş Uzunluğu: üç faza bölünerek değerlendirilmiştir.

-Aşağı çırpma fazı uzunluğu: Ayağın en yukarıda olduğu noktadan, su içerinde en derinde bulunduğu pozisyona kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir.

-Yukarı çırpma fazı uzunluğu: Ayağın su içerinde en derinde bulunduğu noktadan, en yukarıda olduğu pozisyona kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir.

-Tüm bacak vuruşu uzunluğu: Ayağın en yukarıda olduğu pozisyondan tekrar ek yukarıda olduğu pozisyona gelene kadar kat ettiği kol kaydedilmiştir.

Kol ve Bacak Vuruş Süreleri ve Uzunlukları Yüzde Farkları: Farklı yüzme koşullarında kol vuruşu ve bacak vuruşu fazlarının her birinin süre ve uzunluklarının yüzde farkları hesaplanmıştır. Her bir ekstremiteden elde edilen kol ve bacak vuruşu süre ve uzunluklarının yüzde farklarının hesaplanmasında şu formüller kullanılmıştır;

Tüm ekstremiteler serbest (TES) ve kol bağlı (KSA) yüzme arasındaki fark
= ((KSA değeri – TES değeri) / TES değeri) x 100

Tüm ekstremiteler serbest (TES) ve bacak bağlı (BSA) yüzme arasındaki fark
= ((BSA değeri – TES değeri) / TES değeri) x 100

5.8. Veri İşleme

İndikatörden yazılım vasıtasıyla bilgisayara aktarılan ekstremitelerden ölçülen kuvvet verileri Excel dosyası olarak kaydedildi. Ekran görüntüsü kaydıyla alınan gövde kuvvet verileri de Excel olarak kaydedildi.

Excel dosyaları MatLab'de açılarak her bir tekrardaki sağ ve sol ekstremite kol vuruşu ve bacak vuruşlarının tüm kaydı grafik olarak çizdirildi. On sn boyunca

maksimum yüzme performansını içeren kayıtta sporcuların 8-9 kol vuruşu yaptıkları gözlendi. Her bir kol vuruşu ve bu kol vuruşlarına denk gelen bacak vuruşları ayrı ayrı grafik haline getirildi. Bu dokuz kol vuruşundan ilk 3 tanesi ve son üç tanesi çıkarılarak ortada kalan üç kol vuruşu değerlendirmeye alındı. Bu üç kol vuruşundan birinde sorun olması halinde bir sonraki veya bir önceki kol vuruşu analizde kullanıldı.

Tüm ekstremiteler serbest şekilde yüzme esnasında her bir kol vuruşunun eş zamanlı bacak vuruşu analiz edildi. Sağ bacak vuruşu analizinde sağ kol vuruşu zamanları sol bacak vuruşu analizinde sol kol vuruşu zamanları kullanıldı. Dominant kol bağlı ölçümlerde her iki bacak vuruşu kol vuruşu ile eş zamanlı değerlendirildi. Dominant bacak bağlı ölçümlerde ise serbest bacak sol kola eş zamanlı olarak değerlendirildi.

Seçilen üç kol vuruşundan her birinin zirve kuvvet ve impuls değerleri hesaplandı, ayrıca üç zirve kuvvetin ve impulsin ortalama değerleri kaydedildi. Bacak vuruşları için de aynı analiz uygulandı. Gövdeden elde edilen veriler ışık yansıtma vasıtasıyla senkronize edildiğinden kol vuruşlarının alındığı zaman aralığındaki gövde verileri için de aynı yöntem uygulandı. Bu veriler Excel dosyası vasıtasıyla analiz sistemine aktarıldı.

5.9. Verilerin Analizi

İstatistik analizler SPSS 22 versiyonu (SPSS, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) ile gerçekleştirildi. Tüm verilerin dağılımının normalliğini değerlendirmek için skewness ve kurtosis değerleri ve histogram ve Q-Q plot grafikleri incelendi, mean-median-mode değerleri dikkate alındı ve Shapiro Wilks testi kullanılarak istatistik analiz yapıldı. Elde edilen sonuçlarda verilerin normal dağılmadığı tespit edildi. Bu sebeple, tüm ekstremiteler serbest, tek kol bağlı ve tek bacak bağlı ölçüm koşullarında elde edilen kinetik ve kinematiği değerleri Friedman testi ile karşılaştırıldı. Her iki yüzme metodu arasındaki farklar ise Wilcoxon testi ile karşılaştırıldı. Yüzücülerin sağ ve sol ekstremiteleri arasındaki farklılıklar da Wilcoxon testi ile değerlendirildi. Tüm istatistiksel p değerinin <0.05 olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Ayrıca, verilerin yüzde farkları hesaplandı.

5.10. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırmada,

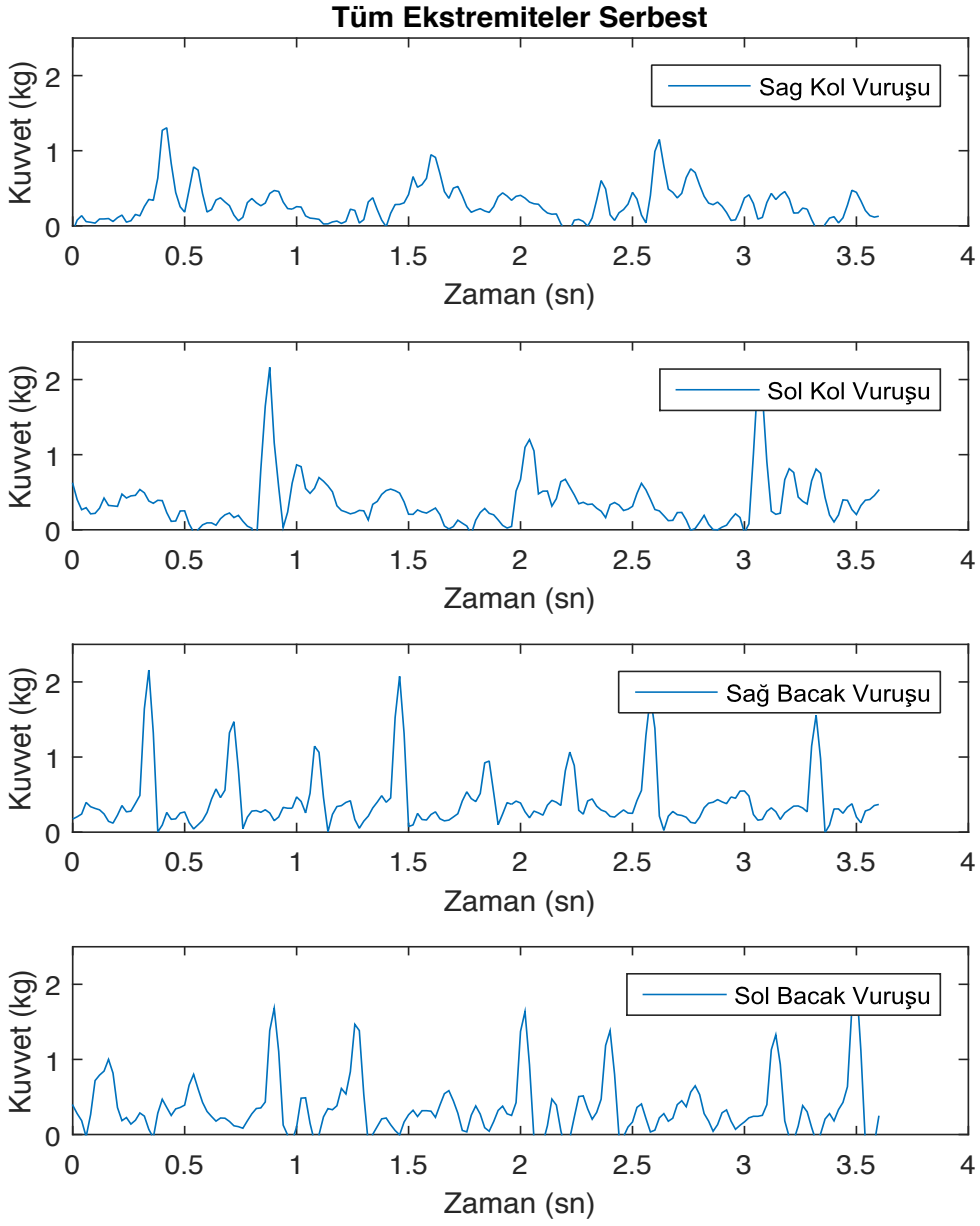
1- Salgın koşulları sebebiyle olgu sayısı sınırlandırıldı

2- Benzer ampütasyon özellikli ve yüzme geçmişi olan ampute kısıtlılığı dolayısıyla simülasyon yöntemi tercih edildi.

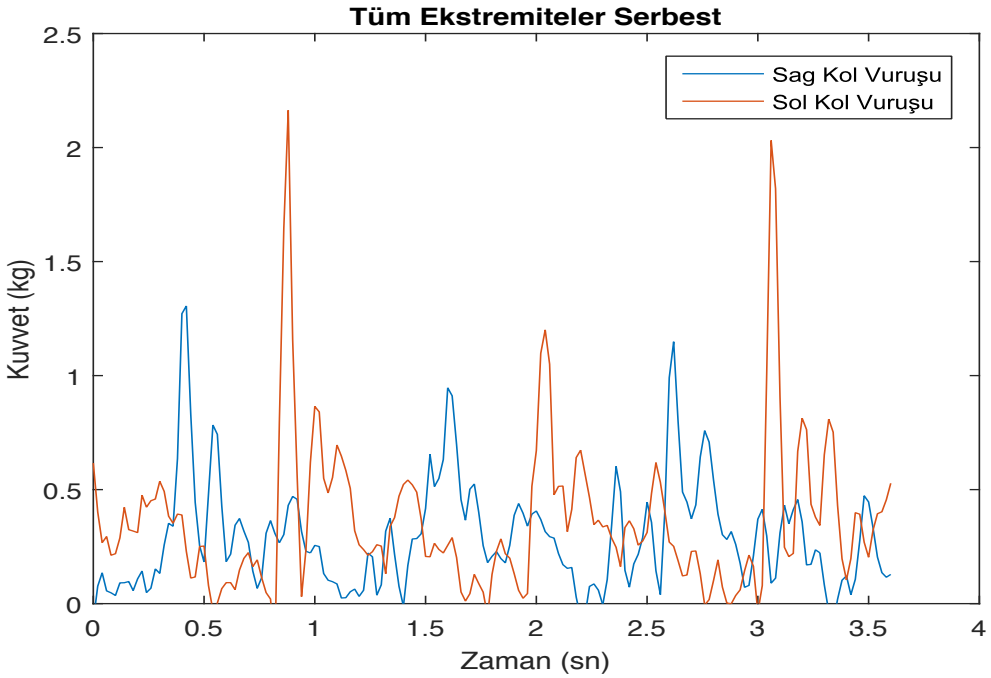
6. BULGULAR

6.1. Tüm Ekstremiteler Serbest Yüzme Sırasında Kuvvet Dağılımı

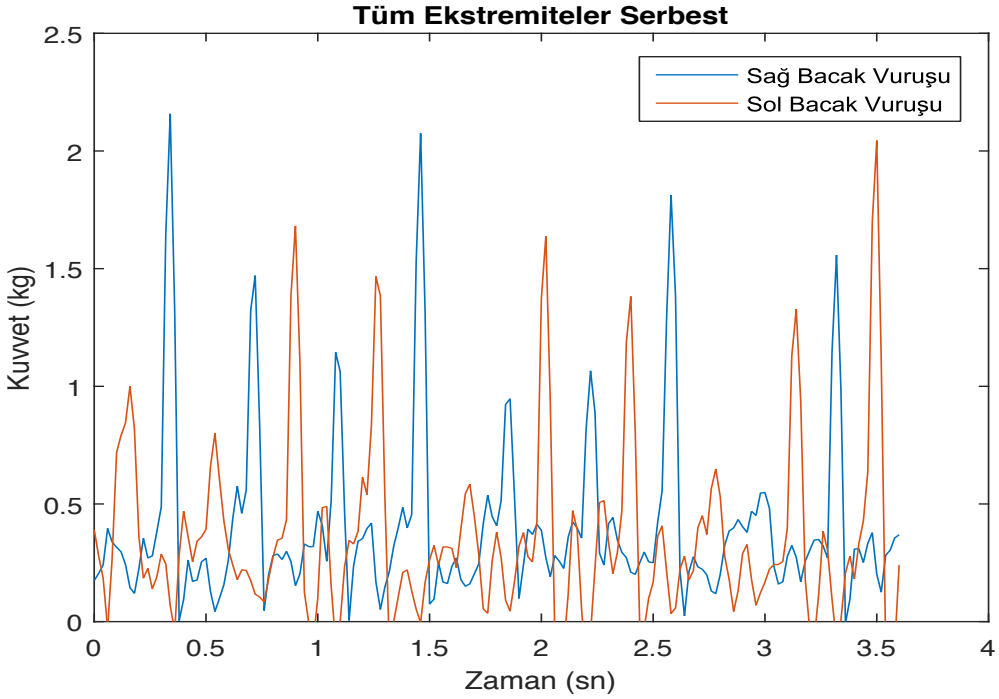
Tüm ekstremiteler serbest yüzmede üç ardışık kol vurulşu sırasında üst ekstremiteler (Şekil 1 ve Şekil 2), alt ekstremiteler (Şekil 1 ve Şekil 3) ve gövdede (Şekil 4) üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımları aşağıda gösterilmiştir.



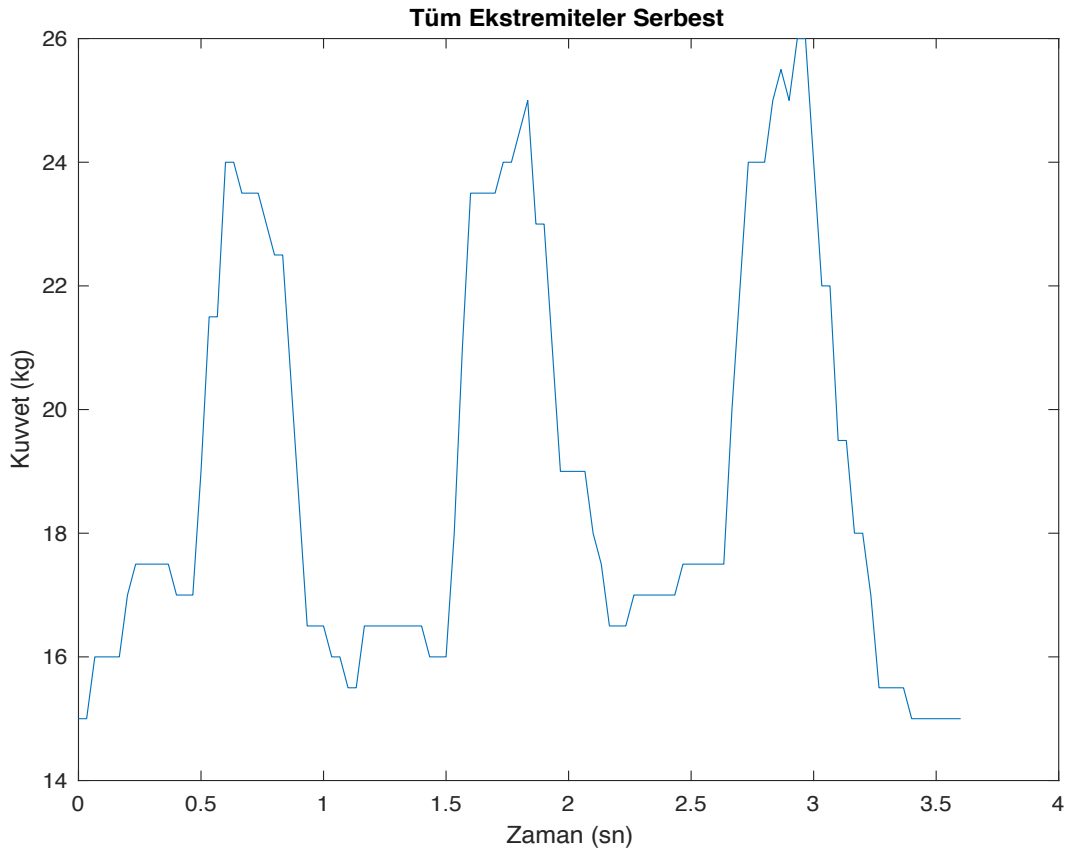
Şekil 1. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında kol vuruşları ve bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



Şekil 2. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında kol vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



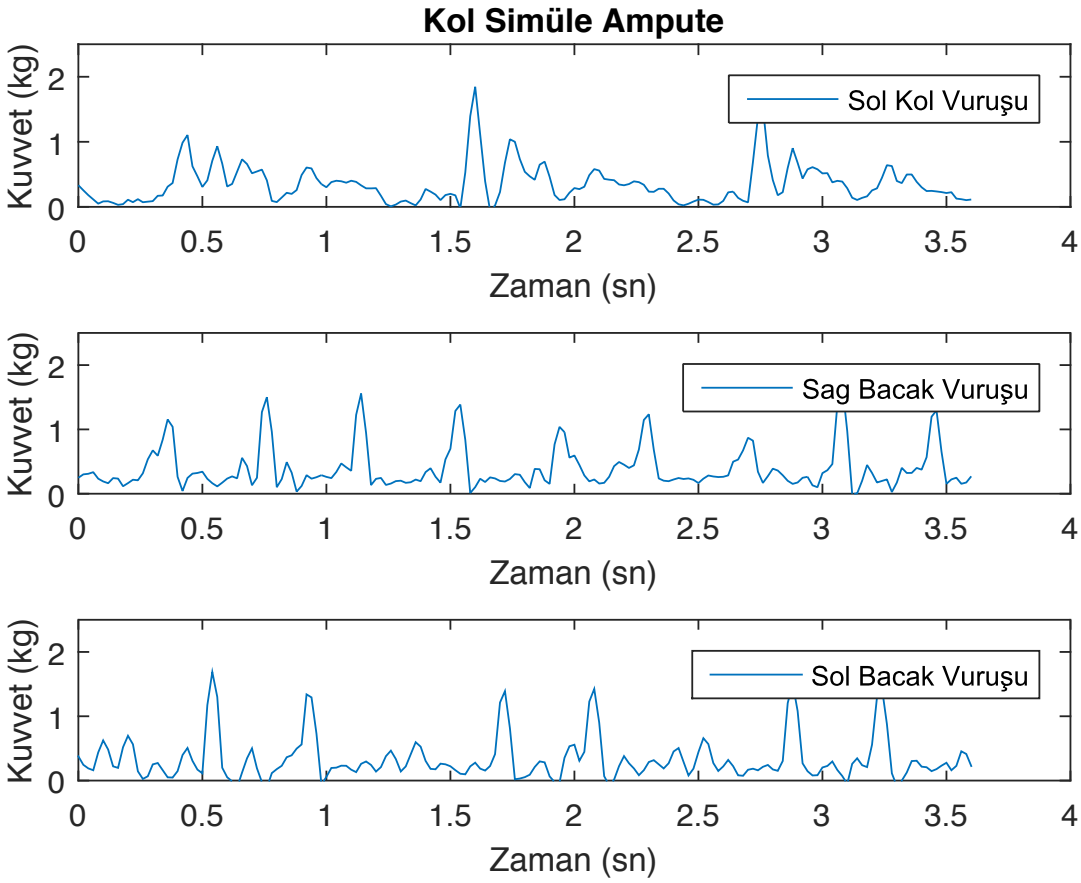
Şekil 3. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



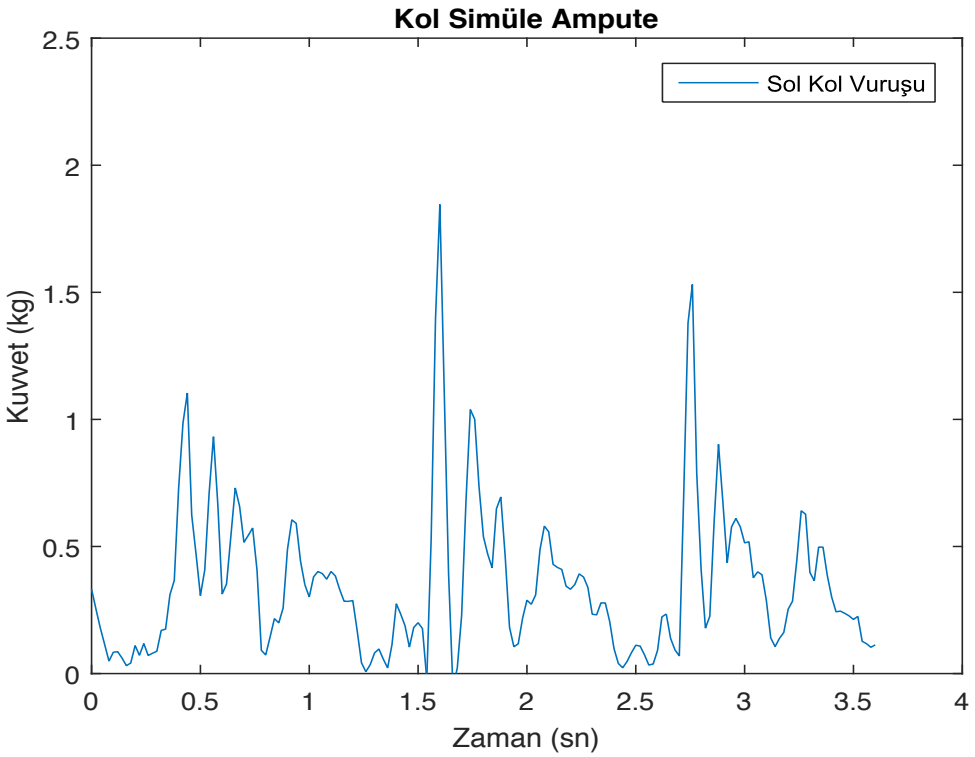
Şekil 4. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında gövdede oluşturulan kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı

6.2. Kol Simüle Ampute Yüzme Sırasında Kuvvet Dağılımı

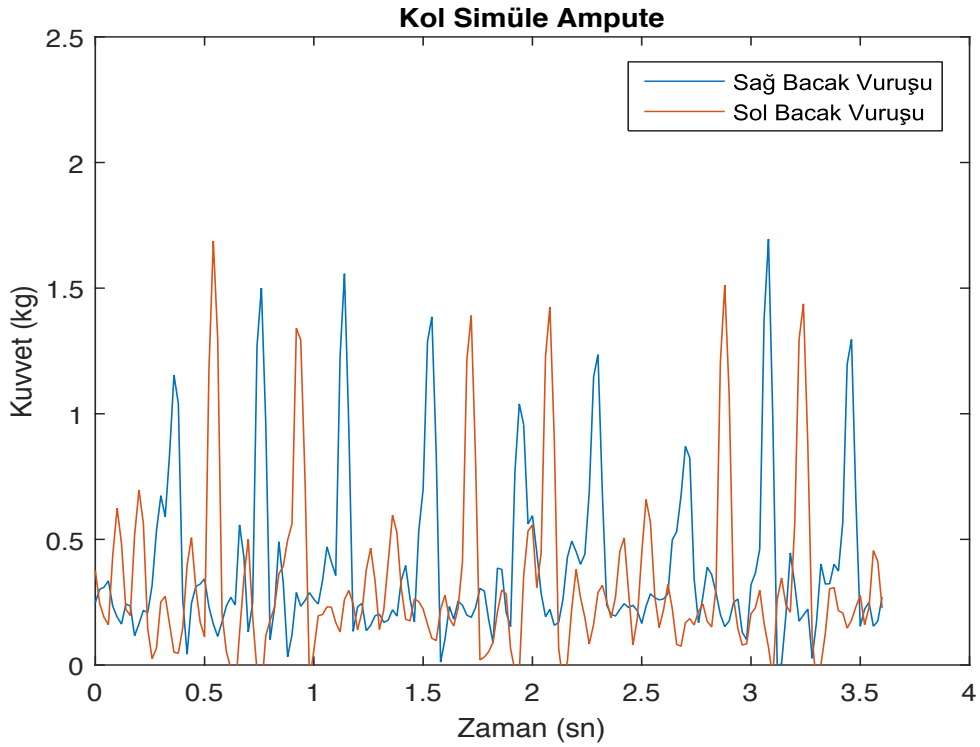
Kol simüle ampute yüzmede üç ardışık kol vuruşu sırasında sol üst ekstremite (Şekil 5 ve Şekil 6) ve alt ekstremitelerde (Şekil 5 ve Şekil 7) ve gövdede (Şekil 8) üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı aşağıda gösterilmiştir.



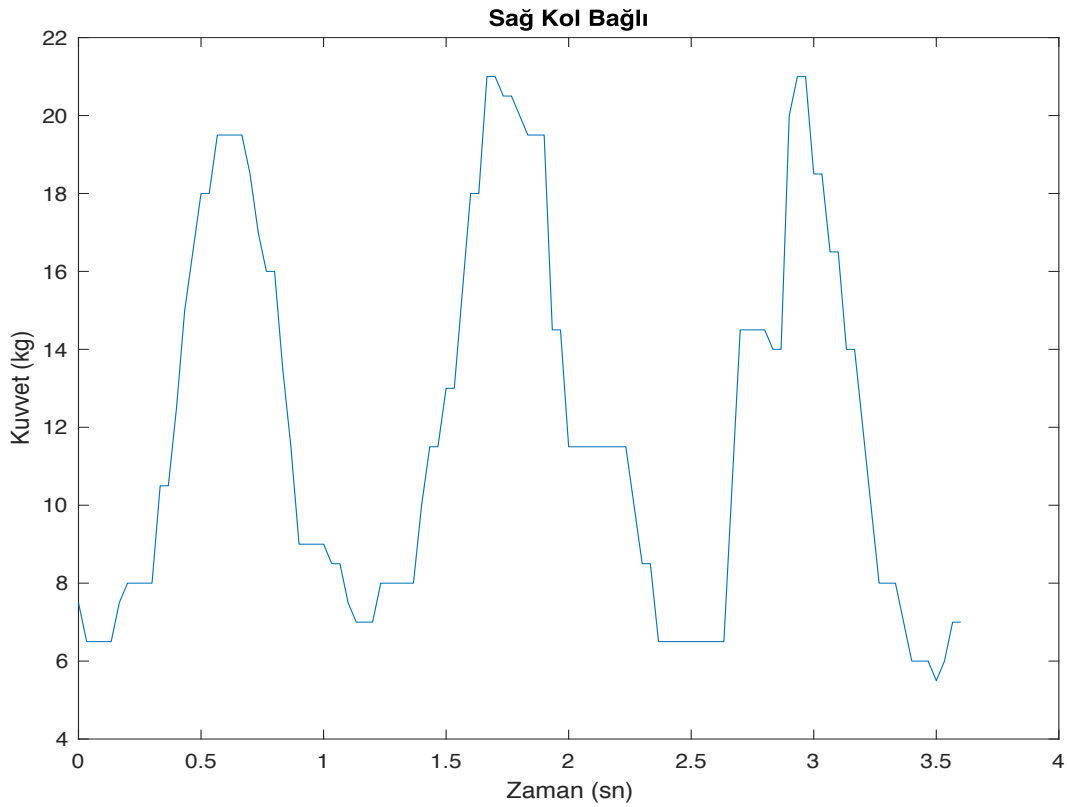
Şekil 5. Kol simüle ampute yüzme sırasında sol kol vuruşu ve sağ ve sol bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



Şekil 6. Kol simüle ampute yüzme sırasında sol kol vuruşuyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



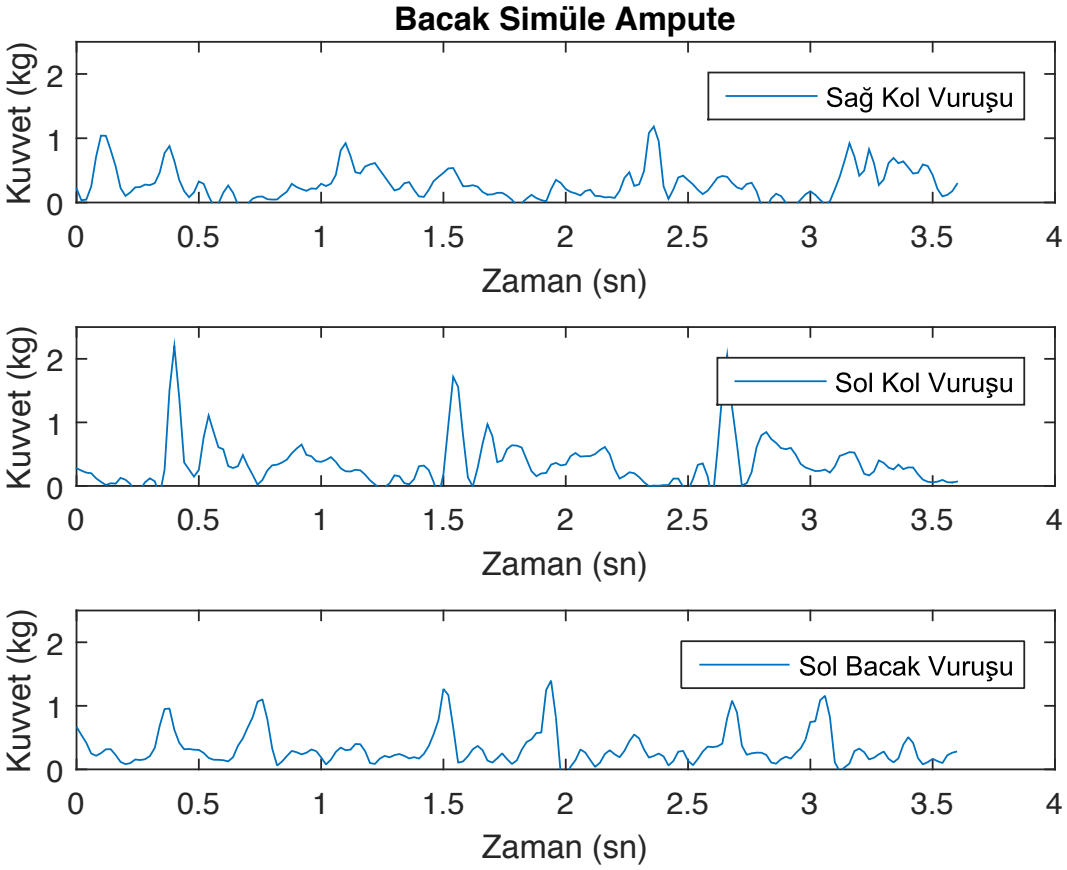
Şekil 7. Kol simüle ampute yüzme sırasında sağ ve sol bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



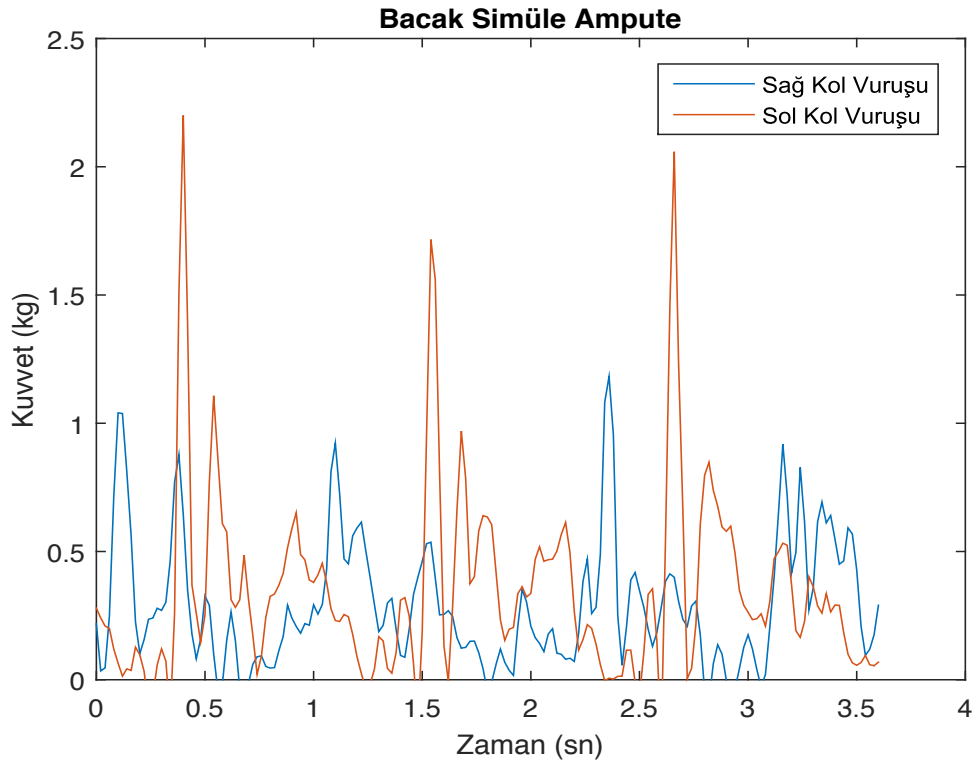
Şekil 8. Kol simüle ampute yüzme sırasında gövdede oluşturulan kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı

6.3. Bacak Simüle Ampute Yüzme Sırasında Kuvvet Dağılımı

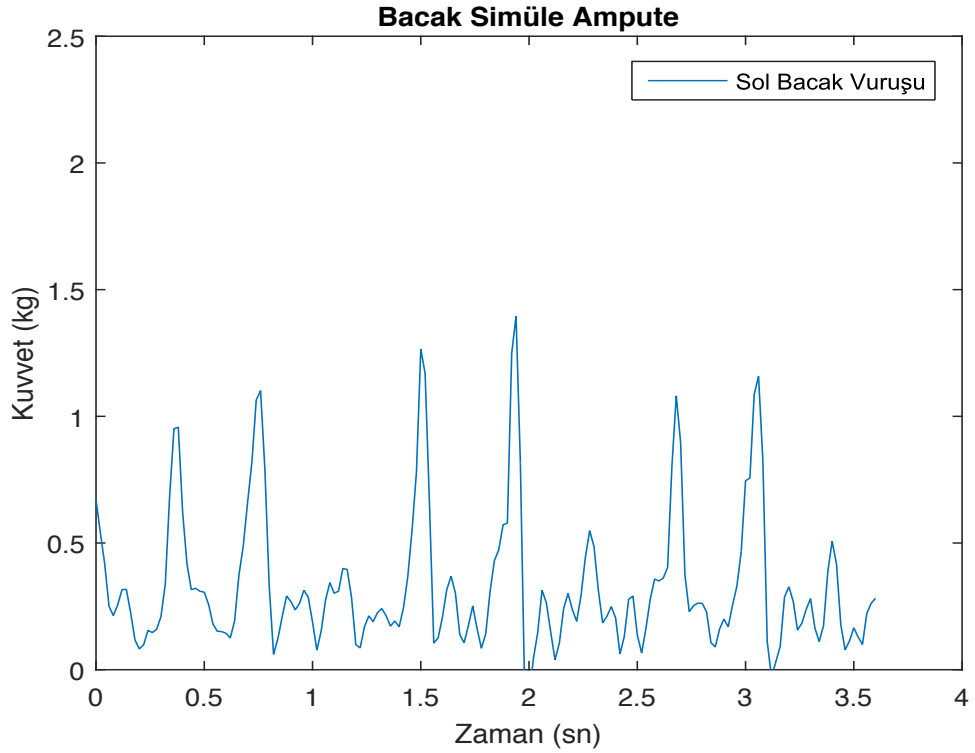
Bacak simüle ampute yüzmede üç ardışık kol vuruşu sırasında üst ekstremiteler (Şekil 9 v Şekil 10), sol alt ekstremite (Şekil 9 ve Şekil 11) ve gövdede (Şekil 12) üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı aşağıda gösterilmiştir.



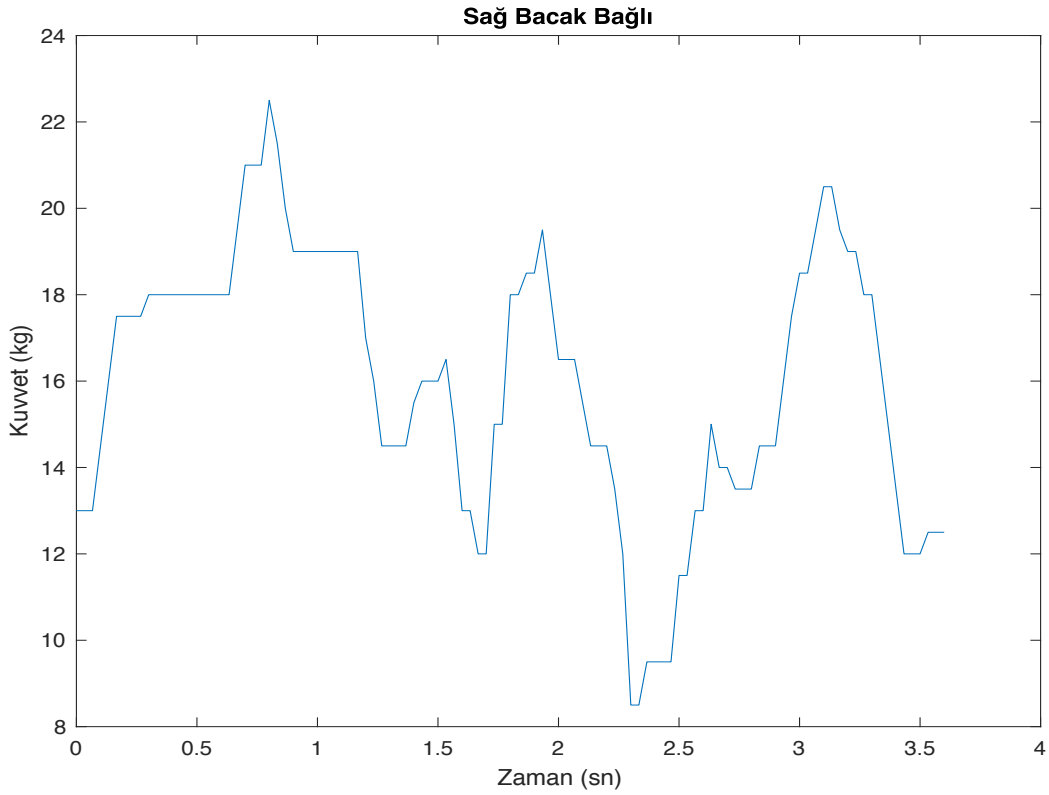
Şekil 9. Bacak simüle ampute yüzme sırasında sağ ve sol kol vuruşları ve sol bacak vuruşuyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



Şekil 10. Bacak simüle ampute yüzme sırasında sağ ve sol kol vuruşlarıyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



Şekil 11. Bacak simüle ampute yüzme sırasında sol bacak vuruşuyla üretilen kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı



Şekil 12. Bacak simüle ampute yüzme sırasında gövdede oluşturulan kuvvetlerin Denek 1'deki örnek dağılımı

Tablo 3. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ekstremiteler arası kuvvet yüzde dağılımları

		Üst Ekstremite		Alt Ekstremite	
		Sağ % Ort. *(SS)*	Sol % Ort. *(SS)*	Sağ % Ort. *(SS)*	Sol % Ort. *(SS)*
Tüm Ekstremiteler Serbest	**Zirve kuvvet**	23.18 *(5.9)*	26.30 *(5.8)*	26.09 *(6.6)*	24.42 *(4.6)*
	Ort. zirve kuvvet	22.69 *(5.2)*	25.60 *(5.5)*	27.01 *(6.5)*	24.69 *(4.1)*
	Ort. impuls	19.13 *(8.0)*	22.15 *(4.3)*	32.07 *(5.6)*	26.65 *(7.8)*
Kol Simüle Ampute	**Zirve kuvvet**		33.78 *(9.4)*	32.95 *(6.4)*	33.27 *(7.0)*
	Ort. zirve kuvvet		33.50 *(8.9)*	34.14 *(7.3)*	32.36 *(5.7)*
	Ort. impuls		26.29 *(6.3)*	40.08 *(6.3)*	33.64 *(7.4)*
Bacak Simüle Ampute	**Zirve kuvvet**	32.68 *(8.9)*	39.43 *(9.4)*		27.89 *(9.3)*
	Ort. zirve kuvvet	32.69 *(6.9)*	38.09 *(7.9)*		29.22 *(7.4)*
	Ort. impuls	32.79 *(12.9)*	30.23 *(6.7)*		37.07 *(10.8)*

Tüm Ekstremiteler Serbest yüzme sırasında kol ve bacak vuruşlarıyla nispeten benzer kuvvet oranları sağlanmıştır. Kol simüle ampute yüzme sırasında kaybedilen yüzeyin serbest kalan üç ekstremite ile telafi edilmeye çalışıldığı, bacak simüle ampute yüzme sırasında ise sağ ve sol kol vuruşu ile telafi edilmeye çalışılmıştır (Tablo 3).

Tablo 4. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ekstremiteler arası kuvvet simetri indeksi

		Üst Ekstremite			Alt Ekstremite		
		Sağ Ort. *(SS)*	Sol Ort. *(SS)*	SI	Sağ Ort. *(SS)*	Sol Ort. *(SS)*	SI
Tüm Eks. Serbest	**Zirve kuvvet**	1.83 *(0.44)*	2.13 *(0.64)*	29.92	2.09 *(0.63)*	1.98 *(0.58)*	24.38
	Ort. zirve kuvvet	1.49 *(0.30)*	1.72 *(0.48)*	26.74	1.80 *(0.52)*	1.66 *(0.45)*	22.93
	Impuls	0.26 *(0.12)*	0.29 *(0.11)*	39.72	0.40 *(0.12)*	0.33 *(0.11)*	30.04
Kol Simüle Ampute	**Zirve kuvvet**		2.07 *(0.66)*		1.98 *(0.34)*	2.02 *(0.46)*	21.77
	Ort. zirve kuvvet		1.73 *(0.57)*		1.73 *(0.34)*	1.65 *(0.35)*	21.86
	Ort. impuls		0.27 *(0.11)*		0.40 *(0.10)*	0.34 *(0.11)*	26.55
Bacak Simüle Ampute	**Zirve kuvvet**	1.86 *(0.68)*	2.24 *(0.70)*	37.45		2.02 *(0.46)*	
	Ort. zirve kuvvet	1.44 *(0.38)*	1.68 *(0.45)*	33.39		1.65 *(0.35)*	
	Ort. impuls	0.30 *(0.10)*	0.28 *(0.10)*	38.34		0.34 *(0.11)*	

Üç farklı koşuldaki yüzme testlerinde simetri indeksleri karşılaştırıldığında sağ ve sol ekstremiteler arası simetrinin kol ve/veya bacağın bağlanmasıyla değiştiği bulunmuştur (Tablo 4).

6.4. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kuvvetlerin karşılaştırılması

Tablo 5. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması-A

		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	Kol Simüle Ampute Ort. *(SS)*	Bacak Simüle Ampute Ort. *(SS)*	p
Sağ Kol Vuruşu	**Zirve kuvvet (kg)**	1.83 *(0.44)*		1.86 *(0.68)*	
	Ort. zirve kuvvet (kg)	1.49 *(0.30)*		1.44 *(0.38)*	
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.26 *(0.12)*		0.30 *(0.10)*	
Sol Kol Vuruşu	**Zirve kuvvet (kg)**	2.13 *(0.64)*	2.07 *(0.66)*	2.24 *(0.70)*	.761
	Ort. zirve kuvvet (kg)	1.72 *(0.48)*	1.73 *(0.57)*	1.68 *(0.45)*	.320
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.29 *(0.11)*	0.27 *(0.11)*	0.28 *(0.10)*	**.012**
Sağ Bacak Vuruşu	**Zirve kuvvet (kg)**	2.09 *(0.63)*	1.98 *(0.34)*		
	Ort. zirve kuvvet (kg)	1.80 *(0.52)*	1.73 *(0.34)*		
	Toplam Ort. İmpuls	0.40 *(0.12)*	0.40 *(0.10)*		
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.13 *(0.04)*	0.13 *(0.03)*		
Sol Bacak Vuruşu	**Zirve kuvvet (kg)**	1.98 *(0.58)*	2.02 *(0.46)*	1.54 *(0.53)*	**.019**
	Ort. zirve kuvvet (kg)	1.66 *(0.45)*	1.65 *(0.35)*	1.27 *(0.32)*	**.035**
	Toplam Ort. impuls	0.33 *(0.11)*	0.34 *(0.11)*	0.35 *(0.15)*	.529
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.11 *(0.04)*	0.11 *(0.04)*	0.12 *(0.05)*	.529
Gövde	**Zirve kuvvet (kg)**	26.73 *(4.33)*	20.64 *(4.02)*	23.09 *(3.72)*	**.001**
	Ort. zirve kuvvet (kg)	24.92 *(4.43)*	19.53 *(3.96)*	20.61 *(2.31)*	**.001**
	Ort. Impuls (kg*sn)	13.36 *(2.39)*	9.00 *(1.99)*	10.61 *(1.61)*	**.000**

Üç farklı koşuldaki ("Tüm Ekstremiteler Serbest", "Kol Simüle Ampute" veya "Bacak Simüle Ampute") yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerleri karşılaştırıldığında (Tablo 5); sol kol vuruşu sırasında oluşan OIM, sol bacak vuruşu sırasında oluşan ZK ve OZK ve gövdede oluşan ZK, OZK, OIM hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$).

Tablo 6. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması-B

		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	Kol Simüle Ampute Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Sağ Kol Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	1.83 *(0.44)*				
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.49 *(0.30)*				
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.26 *(0.12)*				
Sol Kol Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	2.13 *(0.64)*	2.07 *(0.66)*	4.84	-0.400	.689
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.72 *(0.48)*	1.73 *(0.57)*	4.45	-0.356	.722
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.29 *(0.11)*	0.27 *(0.11)*	6.55	-2.490	**.013**
Sağ Bacak Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	2.09 *(0.63)*	1.98 *(0.34)*	0.12	-0.764	.445
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.80 *(0.52)*	1.73 *(0.57)*	0.64	-0.711	.477
	Toplam Ort. impuls	0.40 *(0.12)*	0.40 *(0.10)*	0.62	-0.889	.374
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.13 *(0.04)*	0.13 *(0.03)*	0.62	-0.889	.374
Sol Bacak Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	1.98 *(0.58)*	2.02 *(0.46)*	4.35	-0.089	.929
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.66 *(0.45)*	1.65 *(0.35)*	1.11	-0.356	.722
	Toplam Ort. impuls	0.33 *(0.11)*	0.34 *(0.11)*	2.37	-0.356	.722
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.11 *(0.04)*	0.11 *(0.04)*	2.37	-0.356	.722
Gövde	**Zirve kuvveti (kg)**	26.73 *(4.33)*	20.64 *(4.02)*	22.18	-2.936	**.003**
	Ort. zirve kuvveti (kg)	24.92 *(4.43)*	19.53 *(3.96)*	21.27	-2.934	**.003**
	Ort. Impuls (kg*sn)	13.36 *(2.39)*	9.00 *(1.99)*	32.08	-2.934	**.003**

"Tüm Ekstremiteler Serbest" ve "Kol Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerleri karşılaştırıldığında (Tablo 6); sol kol vuruşu sırasında oluşan OIM, gövdede oluşan ZK, OZK, OIM hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$).

Tablo 7. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması-C

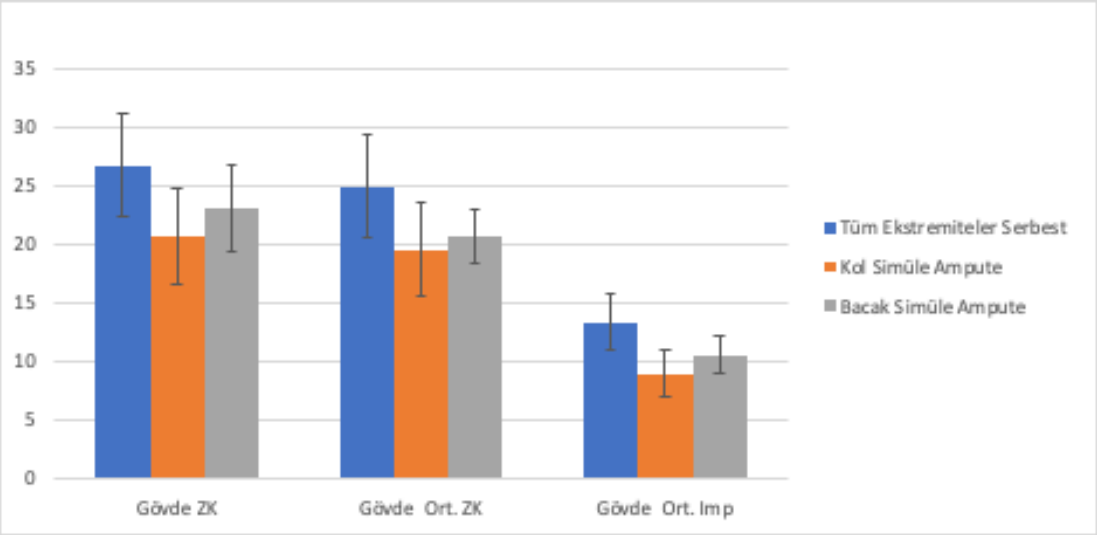
		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	Bacak Simüle Ampute Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Sağ Kol Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	1.83 *(0.44)*	1.86 *(0.68)*	5.18	-0.489	.625
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.49 *(0.30)*	1.44 *(0.38)*	1.48	-0.178	.859
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.26 *(0.12)*	0.30 *(0.10)*	12.60	-0.267	.790
Sol Kol Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	2.13 *(0.64)*	2.24 *(0.70)*	7.44	-1.069	.285
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.72 *(0.48)*	1.68 *(0.45)*	0.44	-0.918	.359
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.29 *(0.11)*	0.28 *(0.10)*	0.72	-0.711	.477
Sağ Bacak Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	2.09 *(0.63)*				
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.80 *(0.52)*				
	Toplam Ort. impuls	0.40 *(0.12)*				
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.13 *(0.04)*				
Sol Bacak Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	1.98 *(0.58)*	1.54 *(0.53)*	16.32	-1.734	.083
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.66 *(0.45)*	1.27 *(0.32)*	19.66	-1.957	.050
	Toplam Ort. impuls	0.33 *(0.11)*	0.35 *(0.15)*	2.46	-0.889	.374
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.11 *(0.04)*	0.12 *(0.05)*	2.46	-0.889	.374
Gövde	**Zirve kuvveti (kg)**	26.73 *(4.33)*	23.09 *(3.72)*	12.26	-2.275	**.023**
	Ort. zirve kuvveti (kg)	24.92 *(4.43)*	20.61 *(2.31)*	15.68	-2.667	**.008**
	Ort. Impuls (kg*sn)	13.36 *(2.39)*	10.61 *(1.61)*	18.96	-2.845	**.004**

"Tüm Ekstremiteler Serbest" ve "Bacak Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testlerinde ölçülen ZK, OZK, OIM değerleri karşılaştırıldığında (Tablo 7); gövdede oluşan ZK, OZK, OIM hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$).

Tablo 8. "Kol Simüle Ampute" ve "Bacak Simüle Ampute" gerçekleştirilen yüzme testlerinde gövdeden ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması

		Kol Simüle Ampute Ort. *(SS)*	Bacak Simüle Ampute Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Gövde	**Zirve kuvveti (kg)**	20.64 *(4.02)*	23.09 *(3.72)*	10.05	-1.939	.052
	Ort. zirve kuvveti (kg)	19.53 *(3.96)*	20.61 *(2.31)*	5.45	-1.112	.266
	Ort. Impuls (kg*sn)	9.00 *(1.99)*	10.61 *(1.61)*	15.20	-2.667	**.008**

"Kol Simüle Ampute" ve "Bacak Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testlerinde gövdede ölçülen ZK, OZK, OIM karşılaştırıldığında (Tablo 8); iki yüzme testinin ortalama impulsleri arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fark olduğu bulunmuştur ($p<0.005$) (Şekil 13).

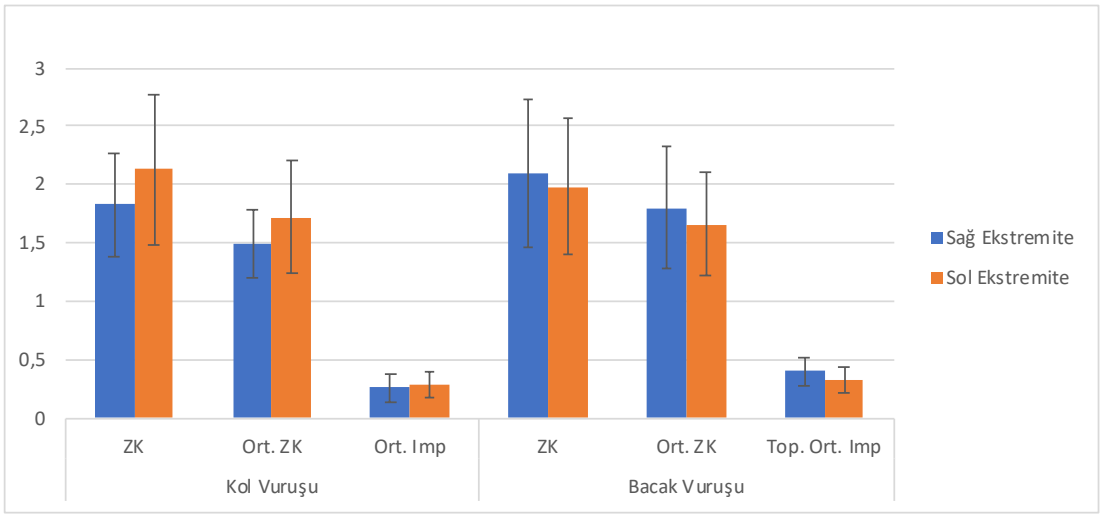


Şekil 13. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde gövdede ölçülen ZK, OZK, OIM değerleri

Tablo 9. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kolda ve bacakta ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması

		Sağ Ort. *(SS)*	Sol Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Kol Vuruşu	**Zirve kuvvet (kg)**	1.83 *(0.44)*	2.13 *(0.64)*	21.36	-1.245	.213
	Ort. zirve kuvvet (kg)	1.49 *(0.30)*	1.72 *(0.48)*	18.44	-1.245	.213
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.26 *(0.12)*	0.29 *(0.11)*	21.61	-0.800	.424
Bacak Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	2.09 *(0.63)*	1.98 *(0.58)*	0.80	-0.801	.423
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.80 *(0.52)*	1.66 *(0.45)*	3.70	-0.889	.374
	Toplam Ort. impuls	0.40 *(0.12)*	0.33 *(0.11)*	14.79	-2.135	**.033**
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.13 *(0.04)*	0.11 *(0.04)*	14.79	-2.135	**.033**

"Tüm Ekstremiteler Serbest" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde, sağ ve sol kol karşılaştırıldığında (ZK, OZK, OIM değerleri açısından) (Tablo 9); istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0.005) (Şekil 14). "Tüm Ekstremiteler Serbest" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde, sağ ve sol bacak karşılaştırıldığında (Tablo 9); OIM değeri hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0.005) (Şekil 14).



Şekil 14. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol taraflarda ölçülen ZK, OZK, OIM değerleri

Tablo 10. "Kol Simüle Ampute" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacakta ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması

		Sağ Bacak Ort. *(SS)*	Sol Bacak Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Bacak Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	1.98 *(0.34)*	2.02 *(0.46)*	5.12	-0.267	.789
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.73 *(0.57)*	1.65 *(0.35)*	0.06	-1.023	.306
	Toplam Ort. impuls	0.40 *(0.10)*	0.34 *(0.11)*	12.65	-2.045	**.041**
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.13 *(0.03)*	0.11 *(0.04)*	12.65	-2.045	**.041**

"Kol Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacak karşılaştırıldığında (Tablo 10); OIM değeri hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0.005).

Tablo 11. "Bacak Simüle Ampute" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kolda ölçülen ZK, OZK, OIM değerlerinin karşılaştırılması

		Sağ Kol Ort. *(SS)*	Sol Kol Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Kol Vuruşu	**Zirve kuvveti (kg)**	1.86 *(0.68)*	2.24 *(0.70)*	35.35	-1.067	.286
	Ort. zirve kuvveti (kg)	1.44 *(0.38)*	1.68 *(0.45)*	25.04	-1.334	.182
	Ort. Impuls (kg*sn)	0.30 *(0.10)*	0.28 *(0.10)*	11.02	-0.178	.859

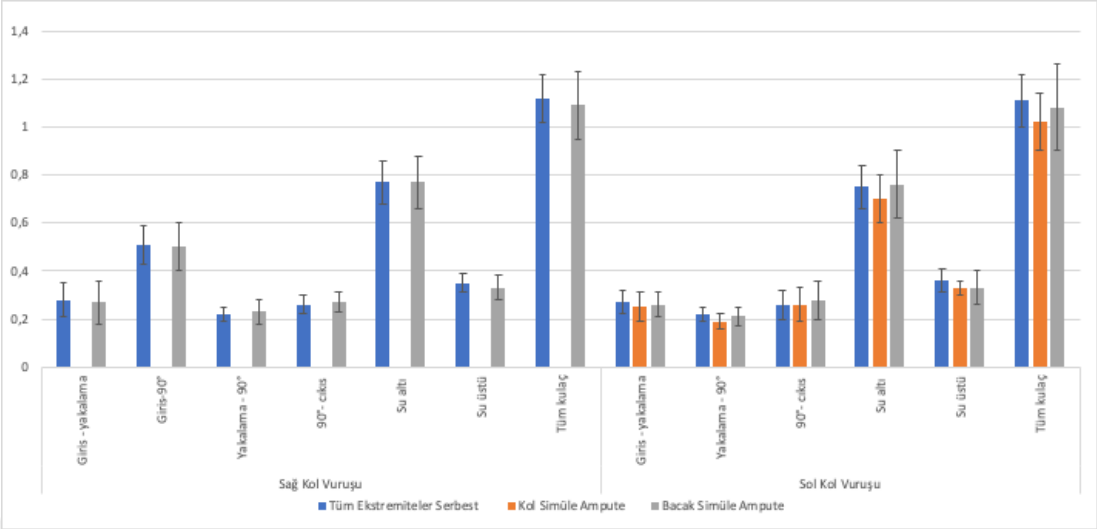
"Bacak Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol karşılaştırıldığında (ZK, OZK, OIM değerleri açısından) (Tablo 11); istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0.005).

6.5. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kinematik verilerin karşılaştırılması

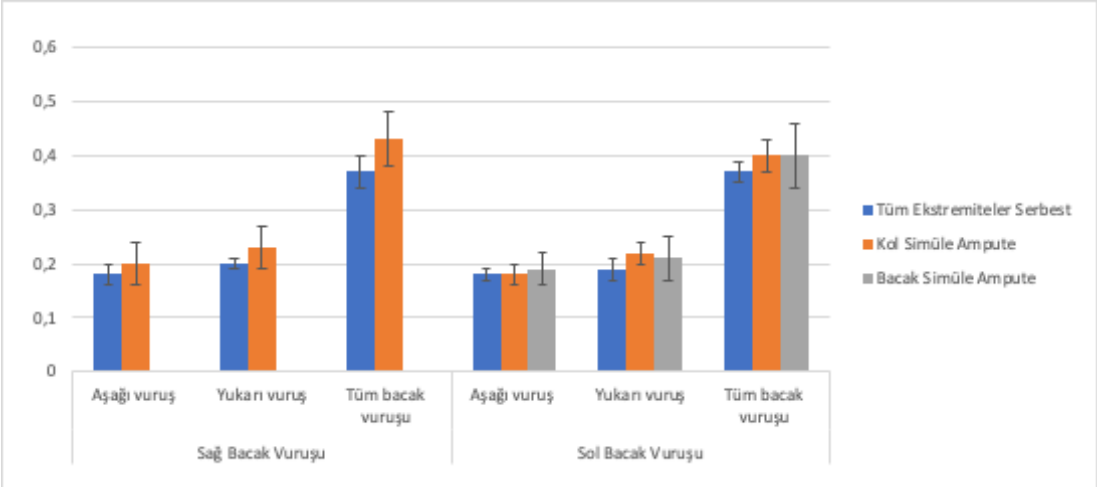
Tablo 12. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırışması-A

		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	**Kol Simüle Ampute** Ort. *(SS)*	**Bacak Simüle Ampute** Ort. *(SS)*	**p**
Sağ Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (sn)**	0.28 *(0.07)*		0.27 *(0.09)*	
	Yakalama-90 fazı (sn)	0.22 *(0.03)*		0.23 *(0.05)*	
	90-cıkıs fazı (sn)	0.26 *(0.04)*		0.27 *(0.04)*	
	Su altı fazı (sn)	0.77 *(0.09)*		0.77 *(0.11)*	
	Su üstü fazı (sn)	0.35 *(0.04)*		0.33 *(0.05)*	
	Tüm kol vuruşu (sn)	1.12 *(0.10)*		1.09 *(0.14)*	
Sol Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (sn)**	0.27 *(0.05*)	0.25 *(0.06)*	0.26 *(0.05)*	.273
	Yakalama-90 fazı (sn)	0.22 *(0.03)*	0.19 *(0.03)*	0.21 *(0.04)*	**.007**
	90-cıkıs fazı (sn)	0.26 *(0.06)*	0.26 *(0.07)*	0.28 *(0.08)*	.741
	Su altı fazı (sn)	0.75 *(0.09)*	0.70 *(0.10)*	0.76 *(0.14)*	.794
	Su üstü fazı (sn)	0.36 *(0.05)*	0.33 *(0.03)*	0.33 *(0.07)*	.097
	Tüm kol vuruşu (sn)	1.11 *(0.11)*	1.02 *(0.12)*	1.08 *(0.18)*	**.027**
Sağ Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (sn)**	0.18 *(0.02)*	0.20 *(0.04)*		
	Yukarı vuruş fazı (sn)	0.20 *(0.01)*	0.23 *(0.04)*		
	Tüm bacak vuruşu (sn)	0.37 *(0.03)*	0.43 *(0.05)*		
Sol Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (sn)**	0.18 *(0.01)*	0.18 *(0.02)*	0.19 *(0.03)*	.122
	Yukarı vuruş fazı (sn)	0.19 *(0.02)*	0.22 *(0.02)*	0.21 *(0.04)*	.122
	Tüm bacak vuruşu (sn)	0.37 *(0.02)*	0.40 *(0.03)*	0.40 *(0.06)*	**.025**

Farklı koşullardaki ("Tüm Ekstremiteler Serbest", "Kol Simüle Ampute" veya "Bacak Simüle Ampute") yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu süreleri karşılaştırıldığında (Tablo 12); sol kol vuruşu çekme fazı ve tüm kol vuruşu süresi ve sol tüm bacak vuruşu süreleri hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$) (Şekil 15 ve Şekil 16).



Şekil 15. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol vuruşu faz süreleri



Şekil 16. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen bacak vuruşu faz süreleri

Tablo 13. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırışması-B

		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	Kol Simüle Ampute Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Sağ Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (sn)**	0.28 *(0.07)*				
	Yakalama-90 fazı (sn)	0.22 *(0.03)*				
	90-cıkıs fazı (sn)	0.26 *(0.04)*				
	Su altı fazı (sn)	0.77 *(0.09)*				
	Su üstü fazı (sn)	0.35 *(0.04)*				
	Tüm kol vuruşu (sn)	1.12 *(0.10)*				
Sol Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (sn)**	0.27 *(0.05)*	0.25 *(0.06)*	7.30	-1.224	.221
	Yakalama-90 fazı (sn)	0.22 *(0.03)*	0.19 *(0.03)*	13.01	-2.601	**.009**
	90-cıkıs fazı (sn)	0.26 *(0.06)*	0.26 *(0.07)*	0.19	-0.051	.959
	Su altı fazı (sn)	0.75 *(0.09)*	0.70 *(0.10)*	6.85	-1.481	.139
	Su üstü fazı (sn)	0.36 *(0.05)*	0.33 *(0.03)*	7.60	-1.784	.074
	Tüm kol vuruşu (sn)	1.11 *(0.11)*	1.02 *(0.12)*	7.68	-2.497	**.013**
Sağ Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (sn)**	0.18 *(0.02)*	0.20 *(0.04)*	9.90	-1.955	.051
	Yukarı vuruş fazı (sn)	0.20 *(0.01)*	0.23 *(0.04)*	15.68	-2.521	**.012**
	Tüm bacak vuruşu (sn)	0.37 *(0.03)*	0.43 *(0.05)*	13.14	-2.429	**.015**
Sol Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (sn)**	0.18 *(0.01)*	0.18 *(0.02)*	4.29	-1.580	.114
	Yukarı vuruş fazı (sn)	0.19 *(0.02)*	0.22 *(0.02)*	12.52	-2.701	**.007**
	Tüm bacak vuruşu (sn)	0.37 *(0.02)*	0.40 *(0.03)*	8.49	-2.295	**.022**

"Tüm Ekstremiteler Serbest" ve "Kol Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu süreleri karşılaştırıldığında (Tablo 13); sol kol vuruşu çekme fazı ve tüm kol vuruşu süresi ve sol ve sağ bacak yukarı vuruş fazı ve tüm bacak vuruşu süreleri hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$).

Tablo 14. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırışması-C

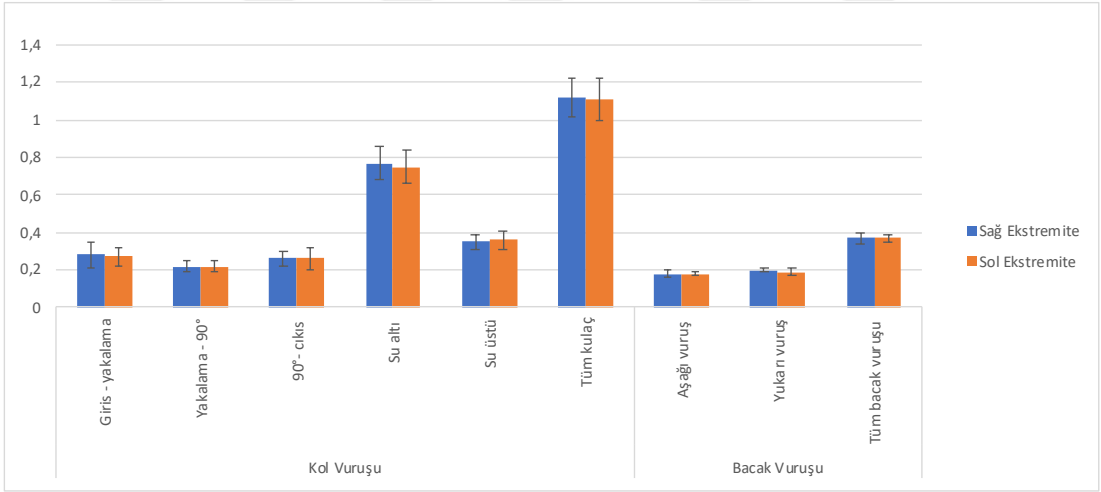
		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	Bacak Simüle Ampute Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Sağ Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (sn)**	0.28 *(0.07)*	0.27 *(0.09)*	5.94	-0.970	.332
	Yakalama-90 fazı (sn)	0.22 *(0.03)*	0.23 *(0.05)*	2.85	-0.153	.878
	90-cıkıs fazı (sn)	0.26 *(0.04)*	0.27 *(0.04)*	1.03	-0.051	.959
	Su altı fazı (sn)	0.77 *(0.09)*	0.77 *(0.11)*	1.06	-0.663	.508
	Su üstü fazı (sn)	0.35 *(0.04)*	0.33 *(0.05)*	3.94	-1.126	.260
	Tüm kol vuruşu (sn)	1.12 *(0.10)*	1.09 *(0.14)*	2.29	-1.070	.285
Sol Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (sn)**	0.27 *(0.05)*	0.26 *(0.05)*	1.97	-1,172	.241
	Yakalama-90 fazı (sn)	0.22 *(0.03)*	0.21 *(0.04)*	3.63	-1.173	.241
	90-cıkıs fazı (sn)	0.26 *(0.06)*	0.28 *(0.08)*	8.84	-1,122	.262
	Su altı fazı (sn)	0.75 *(0.09)*	0.76 *(0.14)*	0.02	-0.051	.959
	Su üstü fazı (sn)	0.36 *(0.05)*	0.33 *(0.07)*	7.71	-1.481	.139
	Tüm kol vuruşu (sn)	1.11 *(0.11)*	1.08 *(0.18)*	2.59	-0.663	.508
Sağ Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (sn)**	0.18 *(0.02)*				
	Yukarı vuruş fazı (sn)	0.20 *(0.01)*				
	Tüm bacak vuruşu (sn)	0.37 *(0.03)*				
Sol Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (sn)**	0.18 *(0.01)*	0.19 *(0.03)*	10.53	-2.191	**.028**
	Yukarı vuruş fazı (sn)	0.19 *(0.02)*	0.21 *(0.04)*	9.10	-1.172	.241
	Tüm bacak vuruşu (sn)	0.37 *(0.02)*	0.40 *(0.06)*	9.69	-1.632	.103

"Tüm Ekstremiteler Serbest" ve "Bacak Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu süreleri karşılaştırıldığında (Tablo 14); sol bacak aşağı vuruş fazı sürelesi hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$).

Tablo 15. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol ve sağ ve sol bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırılması

		Sağ Ort. *(SS)*	Sol Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (sn)**	0.28 *(0.07)*	0.27 *(0.05)*	2.76	-0.770	.441
	Yakalama-90 fazı (sn)	0.22 *(0.03)*	0.22 *(0.03)*	1.79	-0.205	.838
	90-cıkıs fazı (sn)	0.26 *(0.04)*	0.26 *(0.06)*	0.79	-0.459	.646
	Su altı fazı (sn)	0.77 *(0.09)*	0.75 *(0.09)*	2.67	-1.428	.153
	Su üstü fazı (sn)	0.35 *(0.04)*	0.36 *(0.05)*	5.01	-1.326	.185
	Tüm kol vuruşu (sn)	1.12 *(0.10)*	1.11 *(0.11)*	0.52	-0.358	.721
Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (sn)**	0.18 *(0.02)*	0.18 *(0.01)*	0.25	-0.561	.575
	Yukarı vuruş fazı (sn)	0.20 *(0.01)*	0.19 *(0.02)*	1.20	-0.459	.646
	Tüm bacak vuruşu (sn)	0.37 *(0.03)*	0.37 *(0.02)*	0.76	-1.007	.314

"Tüm Ekstremiteler Serbest" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde, sağ ve sol ekstremiteler karşılaştırıldığında (Tablo 15); kol vuruşu ve bacak vuruşu sürelerinde istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0.005) (Şekil 17).



Şekil 17. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol taraflarda ölçülen kol ve bacak vuruşu süreleri

Tablo 16. "Kol Simüle Ampute" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacak vuruşu sürelerinin karşılaştırılması

		Sağ Bacak Ort. *(SS)*	Sol Bacak Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (sn)**	0.20 *(0.04)*	0.18 *(0.02)*	3.44	-0.420	.674
	Yukarı vuruş fazı (sn)	0.23 *(0.04)*	0.22 *(0.02)*	2.47	-0.059	.953
	Tüm bacak vuruşu (sn)	0.43 *(0.05)*	0.40 *(0.03)*	3.99	-0.534	.593

"Kol Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacak vuruş süreleri karşılaştırıldığında (Tablo 16); istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0.005).

Tablo 17. "Bacak Simüle Ampute" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol vuruşu sürelerinin karşılaştırılması

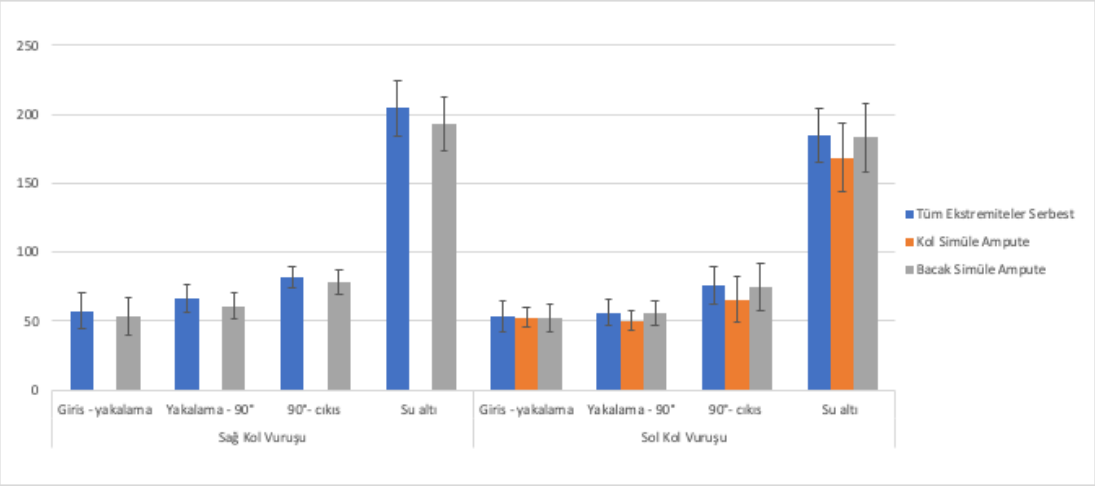
		Sağ Kol Ort. *(SS)*	Sol Kol Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (sn)**	0.27 *(0.09)*	0.26 *(0.05)*	1.02	-0.051	.959
	Yakalama-90 fazı (sn)	0.23 *(0.05)*	0.21 *(0.04)*	3.78	-0.889	.374
	90-cıkıs fazı (sn)	0.27 *(0.04)*	0.28 *(0.08)*	5.66	-0.866	.386
	Su altı fazı (sn)	0.77 *(0.11)*	0.76 *(0.14)*	1.72	-0.561	.575
	Su üstü fazı (sn)	0.33 *(0.05)*	0.33 *(0.07)*	1.39	-0.153	.878
	Tüm kol vuruşu (sn)	1.09 *(0.14)*	1.08 *(0.18)*	0.80	-0.663	.507

"Bacak Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol vuruş süreleri karşılaştırıldığında (Tablo 17); istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0.005).

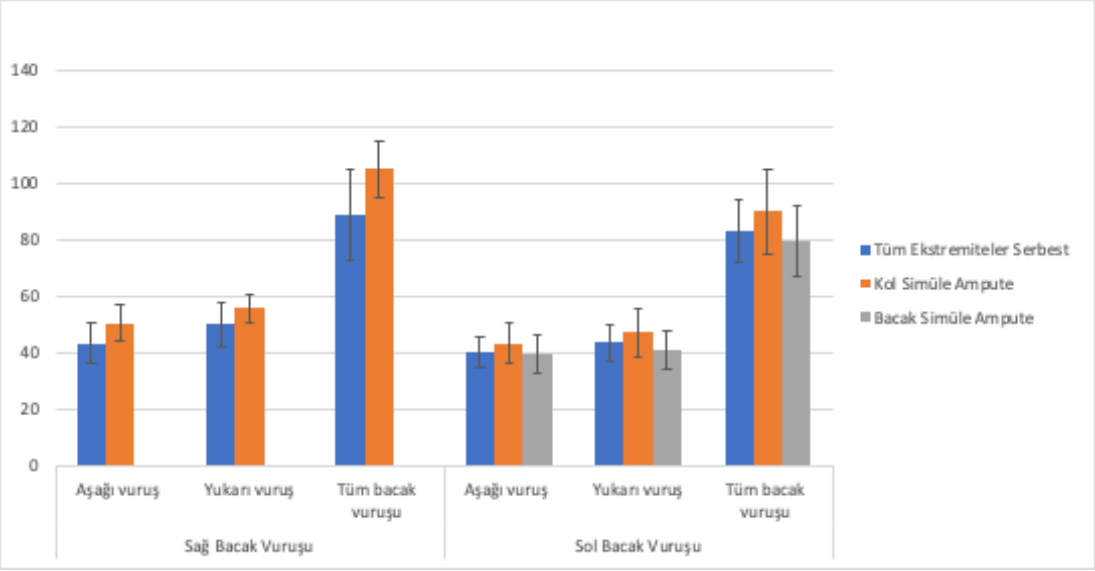
Tablo 18. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırışması-A

		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	**Kol Simüle Ampute** Ort. *(SS)*	**Bacak Simüle Ampute** Ort. *(SS)*	**p**
Sağ Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (cm)**	57.19 *(13.05)*		54.01 *(13.61)*	
	Yakalama-90 fazı (cm)	66.39 *(10.30)*		61.02 *(9.11)*	
	90-cıkıs fazı (cm)	81.35 *(7.68)*		78.37 *(9.09)*	
	Su altı fazı (cm)	204.61 *(20.25)*		193.13 *(19.70)*	
Sol Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (cm)**	53.14 *(11.30)*	52.43 *(7.25)*	52.61 *(10.21)*	.741
	Yakalama-90 fazı (cm)	56.36 *(9.82)*	50.46 *(7.54)*	55.99 *(8.73)*	.273
	90-cıkıs fazı (cm)	75.89 *(13.40)*	65.85 *(17.00)*	74.95 *(16.80)*	.150
	Su altı fazı (cm)	184.87 *(19.70)*	168.37 *(24.85)*	183.28 *(24.70)*	.082
Sağ Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (cm)**	43.28 *(7.11)*	50.28 *(6.23)*		
	Yukarı vuruş fazı (cm)	49.82 *(8.04)*	55.49 *(4.88)*		
	Tüm bacak vuruşu (cm)	88.59 *(16.29)*	104.72 *(10.11)*		
Sol Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (cm)**	40.20 *(5.32)*	43.06 *(7.16)*	39.08 *(6.83)*	.082
	Yukarı vuruş fazı (cm)	43.31 *(6.34)*	47.02 *(8.44)*	40.59 *(6.79)*	.082
	Tüm bacak vuruşu (cm)	83.08 *(11.05)*	89.81 *(15.10)*	79.32 *(12.65)*	.082

Farklı koşullardaki ("Tüm Ekstremiteler Serbest", "Kol Simüle Ampute" veya "Bacak Simüle Ampute") yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunlukları karşılaştırıldığında (Tablo 18); istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$) (Şekil 18 ve Şekil 19).



Şekil 18. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol vuruşu faz uzunlukları



Şekil 19. Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen bacak vuruşu faz uzunlukları

Tablo 19. **Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırışması-B**

		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	**Kol Simüle Ampute** Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Sağ Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (cm)**	57.19 *(13.05)*				
	Yakalama-90 fazı (cm)	66.39 *(10.30)*				
	90-cıkıs fazı (cm)	81.35 *(7.68)*				
	Su altı fazı (cm)	204.61 *(20.25)*				
Sol Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (cm)**	53.14 *(11.30)*	52.43 *(7.25)*	1.02	-0.561	.575
	Yakalama-90 fazı (cm)	56.36 *(9.82)*	50.46 *(7.54)*	8.44	-1.172	.241
	90-cıkıs fazı (cm)	75.89 *(13.40)*	65.85 *(17.00)*	13.11	-1.988	**.047**
	Su altı fazı (cm)	184.87 *(19.70)*	168.37 *(24.85)*	8.55	-1.580	.114
Sağ Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (cm)**	43.28 *(7.11)*	50.28 *(6.23)*	19.33	-1.886	.059
	Yukarı vuruş fazı (cm)	49.82 *(8.04)*	55.49 *(4.88)*	14.06	-1.784	.074
	Tüm bacak vuruşu (cm)	88.59 *(16.29)*	104.72 *(10.11)*	22.54	-1.988	**.047**
Sol Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (cm)**	40.20 *(5.32)*	43.06 *(7.16)*	7.27	-1.682	.093
	Yukarı vuruş (fazı cm)	43.31 *(6.34)*	47.02 *(8.44)*	8.84	-2.191	**.028**
	Tüm bacak vuruşu (cm)	83.08 *(11.05)*	89.81 *(15.10)*	8.82	-1.784	.074

"Tüm Ekstremiteler Serbest" ve "Kol Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunlukları karşılaştırıldığında (Tablo 19); sol kol vuruşu itme fazı, sağ tüm bacak vuruşu ve sol bacak yukarı vuruşu hariç, istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$).

Tablo 20. **Farklı koşullardaki yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırışması-C**

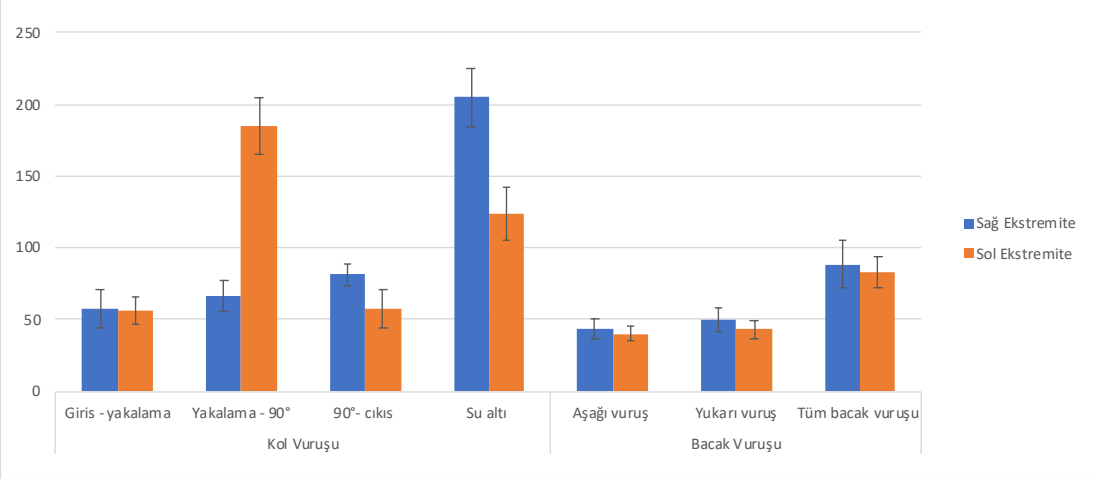
		Tüm Ekstremiteler Serbest Ort. *(SS)*	**Bacak Simüle Ampute** Ort. *(SS)*	**% Fark**	**Z**	**p**
Sağ Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (cm)**	57.19 *(13.05)*	54.01 *(13.61)*	5.32	-1.784	.074
	Yakalama-90 fazı (cm)	66.39 *(10.30)*	61.02 *(9.11)*	6.43	-1.172	.241
	90-cıkıs fazı (cm)	81.35 *(7.68)*	78.37 *(9.09)*	3.37	-0.968	.333
	Su altı fazı (cm)	204.61 *(20.25)*	193.13 *(19.70)*	5.39	-1.886	.059
Sol Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (cm)**	53.14 *(11.30)*	52.61 *(10.21)*	0.15	-0.357	.721
	Yakalama-90 fazı (cm)	56.36 *(9.82)*	55.99 *(8.73)*	0.50	-0.153	.878
	90-cıkıs fazı (cm)	75.89 *(13.40)*	74.95 *(16.80)*	0.51	-0.255	.799
	Su altı fazı (cm)	184.87 *(19.70)*	183.28 *(24.70)*	0.82	-0.255	.799
Sağ Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (cm)**	43.28 *(7.11)*				
	Yukarı vuruş fazı (cm)	49.82 *(8.04)*				
	Tüm bacak vuruşu (cm)	88.59 *(16.29)*				
Sol Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (cm)**	40.20 *(5.32)*	39.08 *(6.83)*	2.67	-1.070	.285
	Yukarı vuruş fazı (cm)	43.31 *(6.34)*	40.59 *(6.79)*	5.57	-1.376	.169
	Tüm bacak vuruşu (cm)	83.08 *(11.05)*	79.32 *(12.65)*	4.20	-1.172	.241

"Tüm Ekstremiteler Serbest" ve "Bacak Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testlerinde ölçülen kol ve bacak vuruşu uzunlukları karşılaştırıldığında (Tablo 20); istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.005$).

Tablo 21. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol ve sağ ve sol bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırılması

		Sağ Ort. *(SS)*	Sol Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı (cm)**	57.19 *(13.05)*	53.14 *(11.30)*	5.10	-1.070	.285
	Yakalama-90 fazı (cm)	66.39 *(10.30)*	56.36 *(9.82)*	14.19	-2.191	**.028**
	90-cıkıs fazı (cm)	81.35 *(7.68)*	75.89 *(13.40)*	6.69	-1.070	.285
	Su altı fazı (cm)	204.61 *(20.25)*	184.87 *(19.70)*	9.18	-2.090	**.037**
Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (cm)**	43.28 *(7.11)*	40.20 *(5.32)*	5.67	-1.478	.139
	Yukarı vuruş fazı (cm)	49.82 *(8.04)*	43.31 *(6.34)*	12.16	-2.293	**.022**
	Tüm bacak vuruşu (cm)	88.59 *(16.29)*	83.08 *(11.05)*	3.16	-1.070	.285

"Tüm Ekstremiteler Serbest" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde, sağ ve sol ekstremiteler karşılaştırıldığında (Tablo 21); kol vuruşu çekme ve sualtı fazı ve bacak vuruşu yukarı vuruş fazı hariç büyüklerinde istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0.005) (Şekil 20).



Şekil 20. "Tüm Ekstremiteler Serbest" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol taraflarda ölçülen kol ve bacak vuruşu süreleri

Tablo 22. "Kol Simüle Ampute" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacak vuruşu uzunluklarının karşılaştırılması

		Sağ Bacak Ort. *(SS)*	Sol Bacak Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Bacak Vuruşu	**Aşağı vuruş fazı (cm)**	50.28 *(6.23)*	43.06 *(7.16)*	13.73	-2.599	**.009**
	Yukarı vuruş fazı (cm)	55.49 *(4.88)*	47.02 *(8.44)*	14.83	-2.191	**.028**
	Tüm bacak vuruşu (cm)	104.72 *(10.11)*	89.81 *(15.10)*	13.65	-2.191	**.028**

"Kol Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol bacak vuruş uzunlukları karşılaştırıldığında (Tablo 22); tüm değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.005$).

Tablo 23. "Bacak Simüle Ampute" gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol vuruşu uzunluklarının karşılaştırılması

		Sağ Kol Ort. *(SS)*	Sol Kol Ort. *(SS)*	% Fark	Z	p
Kol Vuruşu	**Giris-yakalama fazı(cm)**	54.01 *(13.61)*	55.99 *(8.73)*	1.29	-0.764	.445
	Yakalama-90 fazı (cm)	61.02 *(9.11)*	183.28 *(24.70)*	5.66	-0.764	.445
	90-cıkıs fazı (cm)	78.37 *(9.09)*	54.01 *(13.61)*	3.58	-0.459	.646
	Su altı fazı (cm)	193.13 *(19.70)*	115.03 *(14.21)*	4.30	-1.376	.169

"Bacak Simüle Ampute" olarak gerçekleştirilen yüzme testinde sağ ve sol kol vuruş uzunlukları karşılaştırıldığında (Tablo 23); istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.005$).

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

7.1.Amputasyonun Yüzme Kinetiğine Etkisi

Yüzme sırasında oluşturulan ilerletici kuvvetlerin, üç farklı koşulda, incelendiği bu çalışmada, tüm ekstremiteler serbest iken gerçekleştirilen yüzme sırasında sol kol vuruşuyla oluşturulan zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve impuls değerleri sağ kol vuruşundan yüksektir. Alt ekstremitede ise sağ bacak vuruşuyla sola göre daha fazla zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve impuls üretilmiştir. Kol ve bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetler incelendiğinde, oluşturulan zirve kuvvetler benzerken, kol vuruşlarında kuvvet uygulama süresinin daha uzun olduğu bulunmuştur. Tüm ekstremiteler serbest ve simule ampute yüzme sırasında oluşturulan kuvvetler karşılaştırıldığında kolun bağlanması durumda (kol ampute simülasyonu) ortaya çıkan ilerletici kuvvetteki azalma yönünde değişimin, bacağın bağlandığı duruma (bacak ampute simülasyonu) göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda üst ekstremitenin ilerletici kuvvete katkısının alt ekstremiye göre çok daha fazla olduğu bildirilmiş (Deschodt ve ark., 1999; Toussaint ve Beek, 1992) olmakla beraber, güncel araştırmalarda bacak vuruşunun yüzme performansındaki önemi vurgulanmaktadır (Morouço ve ark., 2015a; Swaine ve ark., 2010). Deschodt ve arkadaşları (1999)'nın çalışmasında bacak vuruşlarının kısıtlanması yüzme hızında azalmaya sebep olduğundan bacak vuruşlarının performansı %10 etkilediğini ileri sürmüşlerdir. Ancak, bacaklar kullanılmadan elde edilen kuvvetler ve kollar kullanılmadan elde edilen kuvvetlerin toplamı, bütün ekstremiteler aynı anda serbest iken elde edilenden fazla olduğundan (Morouço ve ark., 2015a) bu sonucun objektifliği tartışma konusudur. Morouço ve ark. (2015a)'nın tespit ettiği kol vuruşlarının % 70.3 ve bacak vuruşlarının % 29.7'lik katkısı önceki çalışmadan farklı iken bizim çalışmamızın sonuçlarına daha yakındır. Morouço ve arkadaşlarının çalışmasında, tüm vücutla yüzülürken elde edilen kuvvet, sadece kollar ve sadece bacaklarla üretilen kuvvetlerin toplamının % 84.4'üne eşittir. Bu sonuç, alt ve üst ekstremitelerle izole olarak üretilen kuvvetlerin tüm ekstremitelerin aynı anda ölçüldüğünden farklı olabileceğini göstermektedir. Bacak vuruşlarının yüzmeye elin su içerisindeki yörüngesini değiştirmek (Deschodt ve ark., 1999), vücudun inklinasyon

açısını azaltmak (Gourgoulis ve ark., 2014), üst ekstremitenin oluşturacağı rotasyonel torkları dengelemek (Sanders, 2011) gibi etkileri olduğu bilindiğinden, sadece kollarla yüzme sırasında bunları telafi etmek için üst ekstremitenin daha fazla efor sarf etmiş olabileceği düşünülmektedir. Kadın yüzücülerde bacakların kuvvete katkısı (% 33.4) erkeklere göre (% 29.7) daha fazla bulunmuştur (Morouço ve ark, 2015b). Bu çalışmadaki kadınların yüzme hızlarının düşük olması sebebiyle üst ekstremitenin vücudun pozisyonlanmasında daha az efor harcama gereksiniminden kaynaklanmış olabilir

Her bir ekstremite ile oluşturulan kuvvetlerin aynı siklus içerisinde değerlendirildiği Swaine ve ark. (2010) ve bizim çalışmamızda bacak vuruşlarıyla daha fazla oranda kuvvet üretilmesi de bu görüşü desteklemektedir. Swaine ve arkadaşları (2010)'nın üst ekstremitelerle oluşturduğu % 62.7 ve alt ekstremitelerle oluşturduğu % 37.3'lük kuvvet bizim çalışmamızdaki alt (% 51) ve üst ekstremite (% 49) oranlarına daha yakındır. Bahsi geçen çalışma ile bizim çalışmamızın sonuçlarındaki farklılık Dos Santos ve ark., (2017)'nın farklı yüzme ortamlarındaki verilerin değişebileceği ve Schnitzler ve ark., (2011)'nın dirence karşı kuvvet üretilmesinin yüzme kinematiğini etkilemesi görüşüyle uyum gösterir. İlave olarak, Yeater ve ark. (1981)'nın kabloya bağlı yüzme metoduyla yaptıkları çalışmada da bacak vuruşunun en az kol vuruşu kadar kuvvet ürettiği bildirilmiştir. Yapılan çalışmalarda bir kol vuruşunun ilerletici kuvvete etkisi bir bacak vuruşu ile karşılaştırılmaktadır. Ancak, serbest yüzme sırasında bir kol vuruşunda sıklıkla üç bacak vuruşu gerçekleştirildiğinden üst ve alt ekstremitenin etkinliğinin tespitinde bir kol vuruşunun üç bacak vuruşu ile farkının incelenmesi gereklidir.

Bizim çalışmamızda tüm esktremiteler serbest yüzme sırasında bacak vuruşlarıyla üretilen kuvvetin büyüklüğü kol vuruşuyla üretilen kuvvete benzerdir. Bacağın yüzey alanının fazla olması ve bacakta kuvvet üretme kapasitesi büyük kas gruplarının bulunmasının yüksek kuvvet üretmesi beklenen bir sonuçtur. Ancak, gövdeden ölçülen ilerletici kuvvet analizleriyle yapılan değerlendirmelerde üst ekstremitenin performansa katkısının daha fazla olduğu ölçülmüştür (Morouço ve ark., 2015a). Bu sonuçlar bacak kuvveti daha fazla olsa bile kuvvetin uygulama yönünün ve süresinin ilerlemeye katkısını olumsuz etkileyeceğini düşündürmektedir.

Yüzme sırasında sağ ve sol ekstremitelerle üretilen kuvvetlerin benzer olacağı düşünülse de yüzücülerin % 66.7'sinde bulunan kuvvet asimetrisi bizim çalışmamızdaki sporcularda da tespit edilmiştir (Morouço ve ark., 2015b). Sağ ve sol ekstremilerle simetrik kuvvet üretimi aerodinamik vücut pozisyonu sağlayarak yüzme performansını olumlu etkileyeceğinden (Sanders ve ark., 2011) ve elit yüzücülerde kuvvet asimetrisi elit olmayanlara göre daha az olduğundan (Dos Santos ve ark., 2013) bilateral asimetrilerin tespit edilerek uygun antrenman programlarıyla düzeltilmesi önemlidir. Yapılan çalışmalarda % 16-19 arasında değişen üst ekstremiteler arası asimetri bizim çalışmamızda bulunan % 26.74'lik farktan düşükken alt ekstremite asimetrisinin değerlendirildiği çalışmaya tarafımızdan rastlanmamıştır (Morouço ve ark., 2015b; Olivier ve ark., 2008; Dos Tantos ve ark., 2013; Dos Santos ve ark., 2017). Kısa mesafe yüzmede % 10'dan fazla asimetrinin performansı olumsuz yönde etkilediği bilindiğinden (Morouço ve ark., 2015b) bizim çalışmamızda üst ve alt ekstremitelerde ölçülen asimetrinin tolere edilemediği düşünülmektedir. Ancak, üst ve alt ekstremitelerde yüksek ortalama zirve kuvvet üreten yönlerin birbirine zıt olması ekstremite asimetrilerinin olumsuz etkisini azaltabilir.

Ekstremiteler arası asimetrinin değerlendirildiği çalışmaların sonuçları birbirine benzerken, ölçüm yöntemleri farklılık oluşturmaktadır. Bazı çalışmalarda karada yapılan (izokinetik ve izometrik kuvvet ölçümleri) test protokolleri kullanılırken, bazı çalışmalarda bizim çalışmamıza benzer şekilde suda yapılan (kabloya bağlı yüzme) test protokolleri kullanılmıştır. Ancak, kara testleri ile gerçekleştirilen çalışmaların yüzme performansını su içerisinde yapılan ölçümler kadar iyi yansıtmadığı göz önünde bulundurulmalıdır (Dos Santos ve ark., 2017).

Morouço ve ark. (2015b)'nın çalışmasında suda ölçülen üst ekstremite asimetrisi (% 19) ve Oliver ve ark. (2008)'nin çalışmasında karada ölçülen üst ekstremite asimetrisi (% 16) bizim çalışmamızdan daha düşüktür (% 26.74) (Morouço ve ark., 2015b). Ancak, bu araştırmalarda asimetrinin sağ ve sol kol arasında yapılması bizim çalışmamızdan farklıdır. Asimetri referansında kol yönünün esas alınması, hesaplama sorunlarına yol açabilir. Dominant kol her zaman yüksek kuvvet üretmeyebilir. Bu sebeple, çalışmamızdaki asimetri yüksek kuvvet üreten taraf esas alınarak hesaplanmıştır. Aynı yöntem kullanılarak yapılan Dos Santos ve ar. (2013)'nın çalışmasında suda elde edilen asimetrinin % 14.55 ve Dos. Santos ve ark.

(2017)'nın çalışmasın suda ölçülen asimetrinin % 12 ve karada ölçülen asimetrinin % 14 olması bizim çalışmamızdaki değerlerden düşüktür. Çalışmamızda elde edilen üst ekstremite asimetrisinin diğer çalışmalara göre daha yüksek olması (% 26.74) çalışmamıza katılan yüzücülerin antrenman geçmişlerinin kısa olmasından veya farklı yüzme takımlarında antrenman yapmalarından kaynaklanmış olabilir.

Touney-Chollet ve ark. (2009)'nın çalışmasında yüzücülerin çoğunluğunun nefes alınan tarafa zıt yöndeki kolları ile daha fazla kuvvet üretmeleri, sağ taraftan nefes alan yüzücülerin çoğunlukta olduğu çalışmamızda sol kol vuruşu kuvvetinin fazla çıkmasını desteklemektedir. Swaine ve ark. (2010)'nın dört ekstremitede oluşturulan kuvvetlerin ayrı ayrı ölçüldüğü çalışmasında, sol kol vuruşuyla oluşturulan ortalama zirve kuvvetleri de sağa göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar, bizim çalışmamıza benzerdir. Keskinen (1994)'in çalışmasında ise bazı sporcuların sağ ve bazılarının ise sol ekstremitelerle daha fazla kuvvet ürettiği tespit edilmiştir.

Tek taraflı nefes alan sporcularda asimetrinin çift taraftan nefes alanlara göre daha fazla olması nefes alma yönünün çalışmalarda farklı sonuçların elde edilmesine sebep olabileceğini düşündürmektedir (Dos Santos ve ark., 2013). Asimetrinin kas kuvveti ile değerlendirildiği Touney-Chollet ve ark. (2009)'nın çalışmasında da yüzücülerin nefes almasının kuvvet simetrisini etkilediği ve etkilemediği yüzücüler şeklinde gruplandırılması bu görüşümüzü desteklemektedir.

Bu çalışmadaki yüzücülerin tüm ekstremiteler serbest yüzme esnasında sol kol vuruşlarıyla sağa göre daha fazla kuvvet üretmeleri (sağ kol: % 23; sol kol: % 26) Swaine ve ark.'nın araştırma sonuçlarına (sağ kol: % 29; sol kol: % 33) benzerdir (Swaine ve ark., 2010). Ancak, Swaine ve ark.'nın araştırmasında sağ ve sol alt ekstremiteler arasındaki kuvvet farklılığı bizim çalışmamızın sonuçlarıyla benzer değildir. Bizim çalışmamızda sağ bacak vuruşuyla sola göre daha fazla kuvvet üretilirken (sağ bacak: % 27; sol bacak: % 24), bahsi geçen çalışmada sol bacak vuruşuyla daha fazla kuvvet üretilmiştir (sağ bacak: % 16; sol bacak: % 22). Yapılan çalışmada aynı yüzme siklusu içerisinde dört ekstremiteden veri alınması bizim çalışmamıza benzerken, ölçüm ortamları birbirinden farklıdır. Bizim çalışmamız su içerisinde doğal yüzme ortamında gerçekleştirilirken Swaine ve ark.'nın çalışması karada oluşturulan bir yüzme düzeneğinde yapılmıştır. Su içerisinde gerçekleştirilen çalışmamızda sol kol ile daha fazla kuvvet üretilmesinin sebep olabileceği rotasyonel

tork vücut pozisyonunu bozacağından (Sanders, 2013) bunu telafi etmek için sağ bacağın daha fazla kuvvet üretmek zorunda kaldığı düşünülmektedir. Swaine ve ark.'nın çalışması ise karada gerçekleştirildiğinden suyu iterek değil bir dirence karşı koyarak güç üretilmiş, vücudun ilerletilmesi ihtiyacı oluşmamış ve ekstremiteler arası koordinasyonun önemi azalmıştır. Ayrıca, kuvvet ölçümlerinin yüksek dirençlere karşı koyarak yapılması ölçülen değerlerin bizim çalışmamızdan yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Çeşitli yöntemlerle direnç kuvvetlerinin arttırıldığı çalışmalarda yüzme kinematiğinin değişmesi (Schnitzler ve ark., 2011) bu ölçüm sistemlerinin yüzücülerin gerçek performansını yansıtıp yansıtmadığını sorgulatmaktadır.

Ekstremiteler bağlanarak simule ampute yüzme yapıldığında ise asimetri oranları tüm ekstremiteler serbest yüzme koşuluna göre farklılaşmaktadır. Sağ kolun bağlanması bacakların daha simetrik kuvvet üretmelerini sağlamıştır (TES: % 22.93; KSA: % 21.86). Bu sonuç, tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında bacak vuruşlarıyla üst ekstremiteler arası asimetrinin veya vücut pozisyonunun düzeltilmeye çalışılırken modifiye yapılmış olmasından kaynaklanıyor olabilir. Sağ bacağın bağlanması ise kolların asimetri oranını arttırmıştır (TES: 26.74%; BSA: 33.39%). Benzer şekilde, bu sonuç da, kollar arası asimetrinin sebep olduğu vücut rotasyonları vb. durumların bacakların yokluğunda telafi edilemediğini göstermektedir.

Tüm bu değerlendirmeler ortalama zirve kuvvet üzerinden yapılırken, yüzme hızının maksimum kuvvet ile ilişkisi non linear iken impulsla ilişkisinin linear olması yüzme performansının değerlendirildiği çalışmalara yeni bir bakış açısı getirmiştir. Kısa mesafe yüzücülerinde etkili bir şekilde kuvvet uygulama yeteneğinin değerlendirildiği bir çalışmada, her bir kol vuruşuyla üretilen maksimum impuls kullanılması gerektiği önerilmiştir (Morouço ve ark., 2014). Ancak, yüzücüler yüksek hızlarda üst üste binen kol vuruşu koordinasyonu sergilediklerinden kabloya bağlı ölçüm yöntemiyle her bir kol vuruşunda üretilen impulsun hesaplanması mümkün olmamıştır (Seifert ve ark., 2005). Bizim çalışmamız ve Swaine'in çalışması dört ekstremitenin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile diğer araştırmalardan farklılaşmaktadır.

Yüzme sırasında sağ kolun simüle amputasyonu sol kolun ortalama zirve kuvvetini etkilemezken, impulsunu düşürmektedir. Bir kolun amputasyonu diğer kolun da etkinliğini azaltmaktadır. Sağ kol Simüle ampute yüzme sırasında gövdeden alınan verilerde ilerletici ortalama zirve kuvvet ve ortalama impulstaki azalma, sağ

kolun bağlanmasından kaynaklanan kaybın yanında, sol kolun etkinliğinin de azaltmasının sonucu olabilir. Tek kol ampute yüzücülerin 100 m serbest yüzme süreleri sağlıklı yüzücülerden %15-20 daha yavaştır. Ayrıca dirsek hizası ampute yüzücülerin gövdede oluşturdukları kuvvet sağlıklı yüzücülerden %23 daha düşüktür (Lee ve ark., 2014). Bu sonuçlar, bizim çalışmamızdaki tek kol simule amputasyonunun sebep olduğu kuvvet düşme oranından benzerdir. Bu durum, çalışmamızda simüle edilen ampütasyonun gerçeğe benzer koşullar sağladığının göstergesi olabilir. Ancak, bahsi geçen çalışmadaki dirsek hizası ampute yüzücülerin uzvun kalan parçasıyla da kuvvet üretebilecekleri (Lecrivain ve ark., 2008) göz önünde bulundurulmalıdır.

Deschodt ve arkadaşları (1999)'nın çalışmasında ise tek kolun (sağ) bağlanması yüzme hızını %4 azaltmıştır. Bizim çalışmızda, performansı yansıtan ilerletici zirve kuvvet ve impuls değerleri ise yüksek oranda azalmıştır (%21-32). Bahsi geçen çalışmada kısıtlanmış kolun vücudun önünde uzanmış bir şekilde tutulması, bizim çalışmamızda ise, kolun vücuda bağlanması arasında farklılık oluşturmaktadır. Alt ekstremiteler incelendiğinde ise, sağ ve sol bacak vuruşlarıyla tüm ekstremiteler serbest yüzmeye benzer zirve kuvveti ve impulsu üretildiği bulunmuştur. Sağ kolun simüle amputasyonuyla oluşabilecek vücut rotasyonunu engellemek amacıyla sağ bacak daha düşük kuvvetlerle daha uzun sure suda kalarak ve daha uzun mesafe kat ederek kompanse yapmış olabilir.

Sağ bacak simüle ampute yüzmede sol bacak aşağı vuruş süresinin artması ve sağ kol simüle ampute yüzmede her iki yöndeki bacak yukarı vuruş süresinin artması ve sol kol vuruşu çekiş fazı süresinin azalması kol ve bacak ampute simulasyonunun farklı şekillerde tolere edilmeye çalışıldığını göstermektedir. Sağ bacak simüle amputasyonunda tüm ekstremiteler serbest yüzmeye göre, sol bacağın zirve kuvveti anlamlılığa yakın oranda düşerken impulsu nispeten artmıştır. Sol bacak sağ bacağın yokluğunu telafi etmek için, bacak vuruşunun kuvvet üreten fazı olan, aşağı vuruş süresini arttırmıştır. Bu durum, sağ bacağın yokluğunda sol bacağın da bir anda yüksek kuvvetler üretemediği, ilerletici kuvveti olumsuz etkileyecek bu durumu bacak vuruşunun süresini ve dolayısıyla impulse arttırarak tolere etmeye çalıştığını göstermektedir. Bu koşuldaki yüzmede, anlamlı düzeyde olmasa da benzer zirve kuvvet ve impuls değerleri üreten sağ kolun su içerisinde daha uzun yörüngede hareket

ederek vücudu su üzerinde düz bir pozisyonda tutmaya çalışmasından kaynaklanıyor olabilir. Bacağın vücudu aerodinamik pozisyonda tutmaya katkısı dikkate alındığında çapraz yöndeki kolun aynı sürede daha uzun yol kat etmesi ekstremitenin daha hızlı hareket ettirilmesiyle vücudun dönmesine engel olmaya çalışmaktan kaynaklanıyor olabilir. Bunun yanında, bacağın simüle ampute edilme şeklinden kaynaklı halen ekstremite ağırlığının taşınması durumunun normal bir amputasyonla birebir aynı olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Buna ek olarak, sağ bacağın simüle ampütasyonu gövdede oluşturulan ilerletici ortalama zirve kuvveti %15.68 azaltmıştır. Bu sonuç, Swaine ve ark nın sağ bacağın katkısının %16 olduğunu bildiren çalışmalarına benzerdir.

Sağ kolun simüle amputasyonu, ilerletici ortalama zirve kuvveti ve ortama impulsu, sağ bacağın simüle amputasyonundan daha fazla etkilemiştir. Bu sonuç, kol vuruşlarının ilerletici kuvvette katkısının bacak vuruşlarından çok daha önemli olduğunu gösteren çalışmalarla paraleldir (Deschodt ve ark., 1999; Toussaint ve Beek, 1992). Bununla birlikte kolun simüle amputasyonu gövde rotasyonunu da etkileyeceğinden bu bölge ile üretilen kuvvetleri de azaltmış olabilir. Bacak vuruşları sırasında gövde rotasyonu gerekmediğinden, üretilen kuvvetlerin azalma oranı daha az olmuş olabilir. Simule amputasyonda ekstremite varlığının devam etmesi, ampute yüzücülerden farklılık olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

Ampute yüzücülerde amputasyon seviyesinin çeşitliliği ve benzer özellikte yeteri sayıda ampute yüzücü bulmanın sınırlılığı çalışmada standartizasyon için ampute simülasyonunun kullanımını gerektirmiştir. Simule ampute ile araştırmalar bilhassa yürüme analizlerinde kullanılmaktadır (Goh ve ark., 1986; Fujishita ve ark., 2018). Çalışmamızda, kol veya bacağın simule amputasyonu itme ve çekme kuvveti ürettikleri bir yüzey alanını kaybetmeleri sebebiyle de ilerlemeyi olumsuz yönde etkilemiş olabilir (Payton ve Wilcox 2006). Ampute yüzücüler, bu sebeple sağlıklı yüzücülere göre dezavantajlıdırlar.

Üst ekstremite, yüzey alanı küçük olmasına rağmen, daha büyük kuvvet oluşturabilmektedir. Kol ve bacak ampute simulasyonları karşılaştırıldığında, kol amputasyonu simulasyonunda ilerletici kuvvetteki azalma daha fazladır. Bu durum, yüzme performansını daha fazla etkilemesi sebebiyle, sınıflama sisteminde dirsek üstü kol amputelerin S8 kategorisinde, dizüstü amputelerin ise S9 kategorisinde

yarıştırılmasının gerekçesi olabilir. Bu sonuçlar, güncel sistemin sınıflamada başarılı olduğunu göstermekle birlikte, birbirine yakın sınıflar arasında ayırım yapmada karşılaşılan sorunların (Oh ve ark., 2013) objektif ölçüm yöntemleriyle çözülmesini sağlayabilir.

Çalışmalarda engel seviyesi arttıkça üretilen kuvvetlerin azaldığının bildirilmesi (Dingley ve ark., 2014; Lee ve ark., 2014) ve yüzme hızı ile ilişkili bulunması da (Lee ve ark., 2014) bu yöntemin objektifliğini desteklemektedir. Lee ve ark.'ın çalışmasında kol dirsek amputasyonu olan yüzücülerin etkilenmemiş kollarıyla ürettileri kuvvetin sağlıklı akranlarına benzer bulunmuştur. Bizim çalışmamızda, tüm ekstremiteler serbest ve sağ kol simule ampute yüzme sırasında sol kolla oluşturulan ortalama kuvvetlerin benzer olması bu çalışmayla paralellik göstermektedir.

Lecrivain ve ark (2019)'nın çalışmasında yüzücülerin ampute taraflarında kalan üst kol parçalarının sağlıklı bireylerden farklı olarak kuvvet üretebilmesi (Lecrivain ve ark., 2008) engelli bireylerin farklı adaptasyonlar geliştirdiğini göstermektedir. Benzer şekilde, üst ekstremite amputelerde yüzme performansının belirgin şekilde bacak vuruş hareketi ile ilişkili olması ve alt ekstremite amputelerin ise bacak vuruş paternlerini kol hareketlerine uyum sağlamak için modifiye etmeleri diğer adaptasyon örnekleridir (Fulton ve ark., 2009, 2011). Bu bağlamda, ampute yüzücülerin zamanla farklı adaptasyonlar geliştirebilecekleri bilindiğinden simulasyonun, amputasyondan farklılıkları göz önünde tutulmalıdır.

7.2.Amputasyonun Yüzme Kinematiğine Etkisi

Yüzme sırasında oluşturulan kol vuruşu ve bacak vuruşu sürelerinin, üç farklı koşulda, incelendiği bu çalışmada, tüm ekstremiteler serbest iken gerçekleştirilen yüzme sırasında, sağ ve sol kol vuruşlarının ve sağ ve sol bacak vuruşlarının tüm faz sürelerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Tüm ekstremiteler serbest ve kol simüle ampute yüzme karşılaştırıldığında, sağ kolun ampute simülasyonuyla sol kol çekiş fazı ve tüm kol vuruşu süresinin azaldığı, bacak vuruşlarının ise yukarı vuruş fazı ve tüm bacak sürelerinin arttığı bulunmuştur. Tüm ekstremiteler serbest ve bacak simüle ampute yüzme süreleri karşılaştırıldığında ise, sağ bacağın ampute simülasyonuyla sol

bacak aşağı vuruş faz süresinin arttığı, ancak kol vuruş sürelerinin etkilemediği tespit edilmiştir.

Üç farklı koşulda yüzme sırasında oluşturulan kol ve bacak vuruşu uzunlukları incelendiğinde ise, tüm ekstremiteler serbest iken gerçekleştirilen yüzme sırasında, sağ kol çekiş fazı ve su altı fazı uzunluğu ve sağ bacak yukarı vuruş fazı uzunluğunun sola göre fazla olduğu tespit edilmiştir. Tüm ekstremiteler serbest ve kol simüle ampute yüzme karşılaştırıldığında, sağ kolun ampute simülasyonunun sol kol itiş fazı uzunluğunu azaltığı, sağ bacak tüm bacak vuruşu ve sol bacak yukarı vuruş uzunluklarını arttırdığı bulunmuştur. Tüm ekstremiteler serbest ve bacak simüle ampute yüzme karşılaştırmasında ise, sağ bacağın ampute simülasyonunun kol ve bacak vuruş uzunluklarını anlamlı oranda etkilemediği tespit edilmiştir.

Yüzme kinematiğinin değerlendirildiği parametrelerden biri kol vuruşu uzunluğudur. Belirli bir hızda daha fazla kol vuruşu uzunluğuna sahip yüzücülerin, daha etkin bir yüzme tekniğine sahip olduğu bildirilmiştir (Barbosa ve ark., 2011). Teknik değerlendirmenin yanında, iyi yüzücülerde kol vuruşu uzunluğunun arttırılmasının yüzme hızını arttırdığı bildirilmiştir (Seifert ve ark., 2007). Bu çalışmada, tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında kol ve bacak vuruşu süreleri benzer olmasına rağmen sağ kol çekiş ve su altı fazı ve bacak aşağı vuruş fazı uzunluklarının sol tarafa göre fazla olması yüzücülerin sağ ekstremitelerini daha etkin kullandıklarını düşündürmektedir. Ancak, kinetik veriler de dikkate alındığında sol kolun sağa göre daha fazla zirve kuvvet üreterek bu durumu telafi etmeye çalıştığı görülmektedir. Alt ekstremitede ise, benzer sürelerde gerçekleştirilen bacak vuruşlarında sağ bacak yukarı vuruş fazının daha uzun olduğu bulunmuştur. Bu fark, kinetik değerlendirmede anlamlı düzeyde olmasa da daha yüksek olan sağ bacak zirve kuvvetinin sol bacak ile telafi edilememesine ve impuls değerlerinde anlamlı düzeyde fark olmasına sebep olmuştur. Tüm ekstremiteler serbest yüzme sırasında, aynı siklus içerisinde her bir ekstremitenin kinetik ve kinematik verilerinin birbirinden farklı olması yüzme performansının değerlendirilebilmesi için tüm ekstremitelerin eş zamanlı incelenmesinin önemini göstermektedir.

Sağ kol simüle ampute yüzme sırasında, sol kol vuruşunun çekiş fazı ve tüm kol vuruşu sürelerinin ve itiş fazı uzunluğunun azalması bir kolun bağlanmasının diğer kolun ilerletici etkisini de azalttığını düşündürmektedir. Bu sonuçlar, sağ kol simüle

ampute yüzme sırasında tüm ekstremiteler serbest yüzmeye benzer zirve kuvveti üreten sol kolun impuls değerinin anlamlı oranda düşmesine sebep olmuştur. Bu sebeple, sağ kolun ampute simülasyonuyla oluşan gövdeden elde edilen ilerletici kuvvetteki azalmanın her iki kol vuruşunun da katkısının azalmasından kaynaklanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bir kolun ampute simülasyonu ve diğer kol vuruşu performansının da düşmesi, sağ ve sol bacak vuruş sürelerinin ve uzunluklarının arttırılmasıyla telafi edilmeye çalışılmıştır. Özellikle, sağ ve sol bacak aşağı vuruşa göre yukarı vuruş fazı sürelerinin daha fazla artması bacak vuruşlarının kuvvet üretmekten ziyade vücudu su üzerinde tutma için uyum sağlamaya çalışmış olabileceğini düşündürmektedir.

Sağ bacak simüle ampute yüzme sırasında ise, kol vuruşu süreleri değişmezken sol bacak aşağıya vuruş süresi artmıştır. Sol bacağın bu adaptasyonu, sağ bacağın simüle amputasyonunun sol bacak vuruşu zirve kuvvetini olumsuz etkilenmesine rağmen, tüm ekstremiteler serbest yüzmeye benzer impuls oluşturabilmesini sağlamıştır. Sağ bacağın simüle amputasyonu, istatistiksel olarak anlamlı olmasa da sağ kolun kuvvet üretilen su altı fazı uzunluğunu büyük oranda etkilemiştir. Bu kolun, aynı sürelerde daha uzun mesafe hareket etmesi, vücudun aerodinamik pozisyonunu korumak için harcanan bir eforun göstergesi olabilir. Tüm bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, herhangi bir ekstremitenin amputasyonunun sadece bu ekstremitenin yokluğundan kaynaklı performans düşüşüne sebep olmadığı, diğer ekstremitlerin de kinetik ve kinematiğini ve dolayısıyla performansını etkilediği görülmektedir.

Yanai ve Hay (2000)'in çalışmasında nefes alınan tarafta kol vuruşu süresinin daha uzun olduğunu bildirilmiştir. Bilateral nefes alan yüzücülerde ise asimetri tespit edilmemiştir. Tourney-Chollet ve arkadaşlarının (2009) çalışmasında ise bazı yüzücülerde nefes alma yönü ile kol vuruşu süresi ilişkili bulunurken bazı yüzücülerde bu ilişki düşüktür. Bizim çalışmamızda, sağ taraftan nefes alan yüzücülerin sağ kol vuruşu süreleri sol kol vuruşuna göre nispeten fazla olsa da bu fark anlamlı değildir. Ancak, çalışmamızda sağ ve sol kol vuruşu süreleri benzerken, nefes alınan kolun aynı sürede daha fazla yol kat ettiği bulunmuştur. Nefes alınan kolun diğer kolla aynı sürede daha uzun yol kat etmesi bu kolun su içerisinde daha hızlı hareket ettirildiğini göstermesi bahsi geçen çalışmaların sonuçlarına benzerdir. Bahsi geçen çalışmaların

sonuçları arasındaki farklılıklar yüzücülerin su içerisinde en verimli aerodinamik pozisyonu yakalayabilmek için geliştirdikleri farklı adaptasyonlardan kaynaklanıyor olabilir.

Dominant tarafın etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada ise, dominant kol vuruşu süresinin ve kuvvetinin diğer kola göre daha fazla olduğu bildirilmiştir (Tounet-Chollet ve ark., 2009). Bizim çalışmamızda, dominant (sağ) ve dominant olmayan kol vuruşları sırasında üretilen kuvvet ve kol vuruşu süresi arasında fark yoktur. Çalışmamıza katılan yüzücülerin sağ ve sol kol vuruşlarında oluşturulan kuvvetlerin ve kol vuruşu sürelerinin benzer olması bilateral koordinasyonlarının iyi olmasından kaynaklanmış olabilir.

Kollar arası koordinasyon sağlıklı yüzücülerde yüzme hızına bağlı olarak değişirken (Seifert ve ark., 2004), tek kol dirsek ampute yüzücülerde yüzme hızından etkilenmemiştir (Osborough ve ark., 2010). Dirsek ampute yüzücüler ektremite uzunluğunun azalmasından kaynaklı kol vuruşu yolunun kısalması sebebiyle oluşabilecek koordinasyon bozulmalarını engellemek için asimetrik kol koordinasyonu gerçekleştirerek ampute kollarında daha uzun sürede yakalama pozisyonuna gelmişlerdir (Osborough ve ark., 2010). Bu sonuç, ampute yüzücülerin telafi edici farklı motor stratejiler geliştirdiklerini göstermektedir. Çalışmamızdaki simule tam kol amputeler ise sağ kolun yokluğunu telafi etmek için sol kol vuruşu süresini azaltarak kol vuruşu frekansını arttırmıştır. Benzer şekilde, tek kol dirsek ampute yüzücülerin olduğu bir çalışmada, kol vuruşu frekansınının arttırmasının yüzme performansını olumlu etkilediği bildirilmiştir (Osborough ve ark., 2009). Bu çalışmada, kol vuruşu frekansı artarken kol vuruşu uzunluğunun azalmıştır. Bizim çalışmamızsa da kol vuruşu frekansı artarken itiş fazı uzunluğu kısalmıştır. Bu sonuçlar, kuvvet üreten önemli bir uzuv yüzeyinin kaybedilmesinin yüzme performansını arttırmada sağlıklı akranlarından farklı olarak kol vuruşu uzunluğundan ziyade frekansının arttırmasının daha önemli olduğunu göstermektedir (Osborough ve ark., 2009). Engelli yüzücülerde yarışma sınıfları arasında kol vuruşu uzunluğunda anlamlı farklılıklar bulunamaması da bu sonuçlara paraleldir (Dziuba ve ark., 2013).

Engelli yüzücülerde kol vuruş frekansının attırılması, kol vuruşu uzunluğuna göre performansı daha fazla etkilerken alt ekstremite buna zıt şekilde çalışmaktadır. Paralimpik yüzücülerde ilerletici kuvvet bacak vuruş frekansından ziyade bacak vuruş

uzunluğunun arttırılmasıyla geliştirilmiştir (Fulton ve ark., 2011). Daha büyük bacak vuruşu uzunluğu standart kullandıkları bacak vuruşu ve küçük uzunluklu bacak vuruşuna göre yüzme hızını daha fazla arttırmıştır. Bizim çalışmamızda ise sağ bacağın bağlanması sol bacak vuruşunun ilerletici fazı olan aşağı vuruş süresinin arttırılmasıyla telafi edilmeye çalışılmıştır. Bu kompansayon daha az zirve kuvvetler üreten sol bacağın impuls değerlerinin korunmasını sağlamıştır. Ayrıca, sağ bacağın bağlanması sağ kol vuruşu uzunluğunu anlamlılığa yakın oranda arttırmıştır. Bu durum, normal koşullarda bacak vuruşla kontrol edilen vücudun rotasyonlarının (Yanai, 2001) aynı taraftaki kol vuruşuyla sağlanmaya çalışılmasından kaynaklanmış olabilir.

Bacak ampute bir yüzücünün aynı yüzme performansındaki sağlıklı bir triatlete göre gövde fleksör ve ekstansör kaslarının daha uzun süreli aktive olması da alt ekstremite kaybında gövde kontrolünün zorlaştığı gösterilmiştir (Martens ve ark., 2011). Ampute yüzücüde etkilenmiş taraftaki gövde fleksör kas aktivitesinin etkilenmemiş tarafa göre daha fazla olması da asimetrinin göstergesidir. Bu sebeple, alt ekstremite ampütasyonunun sadece bacak vuruşuyla üretilen ilerletici kuvvetleri etkilemediği gövde kontrolü ve kassal dayanıklılığını da etkileyerek özellikle uzun mesafeli yarışlarda performansı kısıtlayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada, biyomekanik ölçüm yöntemleriyle elde edilen verilerde kol ampute simule yüzmenin bacak ampute simule yüzmeye göre ilerletici kuvveti daha fazla azalttığı bulunmuştur. Bu sonuçlar, güncel sınıflama sisteminde kol ampute bireyler ile (S8) diz hizası ampute bireylerin (S9) farklı kategorilerde yarışması gerektiği görüşünü desteklemektedir. Sonuçların biyomekanik analizlerle elde edilen objektif verilerle değerlendirilmesi, güncel sınıflama sistemindeki birbirine yakın sınıflar arasında net ayırım yapamama sorununu da (Oh et. al., 2013) ortadan kaldırabilecektir. Engelli yüzücülerde performans değerlendirmelerinin biyomekanik analizlerden elde edilen verilere dayanılarak yapılması, deneye dayalı daha objektif bir sınıflama sisteminin geliştirilmesi gerekliliğini de giderebilecektir (IPC, 2007; Keogh, 2011; Tweedy and Vanlandewijck, 2011). Ayrıca, her bir ekstremite ile üretilen kuvvetlerin ölçülmesiyle asimetrilerin belirlenmesi ve antrenman programlarının elde edilen verilere göre düzenlenmesi de madalya şansını arttırmak isteyen paralimpik sporcular için değerlidir. Yüzme performansını arttırmak için yapılan kompensatuvar

hareketlerin engelli bireylerde ilerleyici olarak kas kuvveti dengesizliklerine sebep olabileceği de göz önünde bulundurulduğunda, bu ölçüm sistemlerinin kullanılması engelli yüzücülerin yaralanma riskini azaltmak için önemlidir.

Bu çalışma, sağlıklı bireylere ampute simulasyonu yapılarak yürütüldüğünden, ekstremitelerin ağırlığının performansı etkileyeceği düşünüldüğünde gerçek amputasyonla bire bir aynı olmaması araştırmanın sınırlılığıdır. Ancak, engelli sporcuların antrenman geçmişinin yüzme performansı ve dolayısıyla yarışılan engel grubunda değişikliğe sebep olabileceği değerlendirildiğinde çalışmanın daha önce bu koşullarda antrenman yapmamış bireylerde gerçekleştirilmesinin objektifliği arttıracağı düşünülmektedir.

8.KAYNAKLAR

Barbosa TM, Marinho DA, Costa MJ, Silva AJ. Biomechanics of competitive swimming strokes. Biomechanics in Applications. 2011; 367-388.

Bozdoğan A. Yüzme. Morpa Kültür yayınları: 2005.

Burkett B, Mellifont R. Sport science and coaching in Paralympic swimming. International Journal of Sports Science and Coaching. 2008; 3(1): 105-112.

Burkett B, Mellifont R, Mason B. The influence of swimming start components for selected Olympic and Paralympic swimmers. Journal of Applied Biomechanics. 2010; 26(2): 134-141.

Cappaert JM, Pease DL, Troup JP. Three-Dimensional analysis of the men‘s 100-m freestyle during the 1992 Olympic Games. Journal of Applied Biomechanics. 1995; 11(1): 103-112.

Cardelli C, Lerda R, Chollet D. Analysis of breathing in the crawl as a function of skill and stroke characteristics. Perceptual and Motor Skills. 2000; 90(3): 979-987.

Chollet D, Chalies S, Chatard JC. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. International journal of sports medicine. 2000; 21(1): 54-59.

Daly DJ, Vanlandewijck Y. Some criteria for evaluating the “fairness” of swimming classification. Adapted Physical Activity Quarterly. 1999; 16(3): 271-289.

Daly DJ, Malone LA, Smith DJ, Vanlandewijck Y, Steadward RD. The contribution of starting, turning, and finishing to total race performance in male Paralympic swimmers. Adapted Physical Activity Quarterly. 2001; 18(3): 316-333.

Deschodt VJ, Arsac LM, Rouard AH. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1999; 80(3): 192-199.

Dingley AA, Pyne D, Burkett B. Dry-land bilateral hand-force production and swimming performance in paralympic swimmers. International Journal of Sports medicine. 2014a; 35(11): 949-953.

Dingley AA, Pyne DB, Burkett B. Phases of the swim-start in Paralympic swimmers are influenced by severity and type of disability. Journal of Applied Biomechanics. 2014b; 30(5): 643-648.

Dos Santos MAM, Junior MLB, de Castro Melo WV, da Costa AV, da Cunha Costa M. Estimate of propulsive force in front crawl swimming in young athletes. Open Access Journal of Sports Medicine. 2012; 3: 115-120.

Dos Santos KB, Pereira G, Papoti M, Bento PCB, Rodacki, A. Propulsive force asymmetry during tethered-swimming. International Journal of Sports Medicine. 2013; 34(07): 606-611.

Figueiredo P, Willig R, Alves F, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Biophysical characterization of a swimmer with a unilateral arm amputation: a case study. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2014; 9(6): 1050-1053.

Dos Santos KB, Bento PCB, Pereira G, Payton C, Rodacki AL. Front crawl swimming performance and bi-lateral force asymmetry during land-based and tethered swimming tests. Journal of Sports Science and Medicine. 2017; 16(4): 574-580.

Dziuba AK, Kolodziej A, Zurowska A. Kinematic analysis as a part of objective method of functional classification in disability swimming-Pilot studies. Baltic Journal of Health and Physical Activity. 2013; 5(3): 176-183.

Evershed JA, Frazer S, Mellifont R, Burkett B. Sports technology provides an objective assessment of the Paralympic swimming classification system. Sports Technology. 2012; 5(1-2): 49-55.

Formosa DP, Mason B, Burkett B. The force–time profile of elite front crawl swimmers. Journal of Sports Sciences. 2011; 29(8): 811-819.

Formosa DP, Sayers MG, Burkett B. Quantifying stroke coordination during the breathing action in front-crawl swimming using an instantaneous net drag force profile. Journal of Sports Sciences. 2014; 32(18): 1729-1737.

Fujishita H, Urabe Y, Maeda N, Komiya M, Sakai S, Hirata K, Kimura H. Biomechanics of single-leg running using lofstrand crutches in amputee soccer. Journal of physical therapy science. 2018; 30(12): 1483-1487.

Fulton SK, Pyne DB, Burkett B. Quantifying freestyle kick-count and kick-rate patterns in Paralympic swimming. Journal of Sports Sciences. 2009a; 27(13): 1455-1461.

Fulton SK, Pyne DB, Hopkins WG, Burkett B. Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. Journal of Sports Sciences. 2009b; 27(5): 535-539.

Fulton SK, Pyne D, Burkett B. Optimizing kick rate and amplitude for Paralympic swimmers via net force measures. Journal of Sports Sciences. 2011; 29(4): 381-387.

Gatta G, Cortesi M, Di Michele R. Power production of the lower limbs in flutter-kick swimming. Sports Biomechanics. 2012; 11(4): 480-491.

Goh JCH, Toh SL, Bose K. Biomechanical study on axillary crutches during single-leg swing-through gait. Prosthetics and Orthotics International.1986; 10(2): 89-95.

Gourgoulis V, Boli A, Aggeloussis N, Toubekis A, Antoniou P, Kasimatis P, Mavromatis G. The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. Journal of Sports Sciences. 2014; 32(3): 278-289.

Gourgoulis V, Aggeloussis N, Vezos N, Kasimatis P, Antoniou P, Mavromatis G. Estimation of hand forces and propelling efficiency during front crawl swimming with hand paddles. Journal of Biomechanics. 2008; 41(1): 208-215.

Hollander AP, De Groot G, van Ingen Schenau GJ, Toussaint HM, De Best H, Peeters, W, Schreurs AW. Measurement of active drag during crawl arm stroke swimming. Journal of Sports Sciences. 1986; 4(1): 21-30.

International Paralympic Committee. IPC Classification Code and International Standards, 2007. Aviable at: https://www. paralympic.

IPC Swimming . Classification, rules and regulations, 2011.

Keogh JW. Paralympic sport: an emerging area for research and consultancy in sports biomechanics. Sports Biomechanics. 2011; 10(3): 234-253.

Keskinen KL. Measurement of technique in front crawl swimming. In Medicine and science in aquatic sports (Vol. 39, pp. 117-125). Karger Publishers, 1994, p:117-125.

Lecrivain G, Payton C, Slaouti A, Kennedy I. Effect of body roll amplitude and arm rotation speed on propulsion of arm amputee swimmers. Journal of Biomechanics. 2010; 43(6): 1111-1117.

Lecrivain G, Slaouti A, Payton C, Kennedy I. Using reverse engineering and computational fluid dynamics to investigate a lower arm amputee swimmer's performance. Journal of Biomechanics. 2008; 41(13): 2855-2859.

Lee CJ, Sanders RH, Payton CJ. Changes in force production and stroke parameters

of trained able-bodied and unilateral arm-amputee female swimmers during a 30 s tethered front-crawl swim. Journal of Sports Sciences. 2014; 32(18): 1704-1711.

Lerda R, Cardelli C. Breathing and propelling in crawl as a function of skill and swim velocity. International Journal of Sports Medicine. 2003; 24(1): 75-80.

Lerda R, Cardelli C, Chollet D. Analysis of the interactions between breathing and arm actions in the front crawl. Journal of Human Movement Studies. 2001; 40(2): 129-144.

Maglischo EW. Swimming fastest. Human kinetics; 2003.

Maglischo EW. A Primer for Swimming Coaches. Volume 2. Nova Science Publishers, Incorporated; 2015.

Marfell-Jones MJ, Stewart AD, De Ridder JH. International standards for anthropometric assessment, 2012.

Martens J, Einarsson IP, Schnizer N, Staes F, Daly D. Lower trunk muscle activity during front crawl swimming in a single leg amputee. Portuguese Journal of Sports Sciences. 2011; 11: 751-754.

Morouço PG, Marinho DA, Izquierdo M, Neiva H, Marques MC. Relative contribution of arms and legs in 30 s fully tethered front crawl swimming. BioMed Research International, 2015a;1-6.

Morouço PG, Marinho DA, Fernandes RJ, Marques MC. Quantification of upper limb kinetic asymmetries in front crawl swimming. Human Movement Science. 2015b; 40: 185-192.

Morouço PG, Marinho DA, Keskinen KL, Badillo JJ, Marques MC. Tethered swimming can be used to evaluate force contribution for short-distance swimming

performance. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2014; 28(11): 3093-3099.

Nicholson VP, Spathis JG, Hogarth LW, Connick MJ, Beckman EM, Tweedy SM, Burkett BJ. Establishing the reliability of a novel battery of range of motion tests to enable evidence-based classification in Para Swimming. Physical Therapy in Sport. 2018; 32: 34-41.

Oh YT, Burkett B, Osborough C, Formosa D, Payton C. London 2012 Paralympic swimming: passive drag and the classification system. British journal of Sports Medicine. 2013; 47(13): 838-843.

Olivier N, Quintin G, Rogez J. The high level swimmer articular shoulder complex. In Annales de readaptation et de medecine physique: revue scientifique de la Societe francaise de reeducation fonctionnelle de readaptation et de medecine physique. 2008; 51(5): 342-347.

Osborough CD, Payton CJ, Daly DJ. Relationships between the front crawl stroke parameters of competitive unilateral arm amputee swimmers, with selected anthropometric characteristics. Journal of Applied Biomechanics. 2009; 25(4): 304-312.

Osborough CD, Payton CJ, Daly DJ. Influence of swimming speed on inter-arm coordination in competitive unilateral arm amputee front crawl swimmers. Human Movement Science. 2010; 29(6): 921-931.

Payton CJ, Bartlett RM, Baltzopoulos V, Coombs R. Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. Journal of Sports Sciences. 1999; 17(9): 689-696.

Payton CJ, Wilcox C. Intra-cyclic speed fluctuation of uni-lateral arm amputee front crawl swimmers. Portuguese Journal of Sport Science. (2006); 6: 70-73.

Prins J, Murata N. Stroke mechanics of swimmers with permanent physical disabilities. Stroke. 2008; 24: 19-26.

Ribeiro J, De Jesus K, Figueiredo P, Toussaint H, Guidetti L, Alves F, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Biomechanical determinants of force production in front crawl swimming. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2013; 53: 30-37.

Sanders RH. How do asymmetries affect swimming performance? Journal of Swimming Research. 2013; 21(1).

Sanders RH, Thow J, Fairweather M. Asymmetries in swimming: Where do they come from. Journal of Swimming Science. 2011; 18: 1-11.

Satkunskiene D, Schega L, Kunze K, Birzinyte K, Daly D. Coordination in arm movements during crawl stroke in elite swimmers with a loco-motor disability. Human movement science. 2005; 24(1): 54-65.

Seifert L, Schnitzler C, Bideault G, Alberty M, Chollet D, Toussaint HM. Relationships between coordination, active drag and propelling efficiency in crawl. Human Movement Science. 2015; 39: 55-64.

Seifert L, Chollet D, Allard P. Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. Human Movement Science. 2005; 24(2): 234-256.

Seifert L, Chollet D, Chatard JC. Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2007; 39(10): 1784-1793.

Seifert L, Chollet D, Bardy BG. Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. Journal of Sports Sciences. 2004; 22(7): 651-660.

Schnitzler C, Brazier T, Button C, Seifert L, Chollet D. Effect of velocity and added resistance on selected coordination and force parameters in front crawl. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2011; 25(10): 2681-2690.

Swaine IL, Hunter A, Carlton KJ, Wiles JD, Coleman D. Reproducibility of limb power outputs and cardiopulmonary responses to exercise using a novel swimming training machine. International Journal of Sports Medicine. 2010; 31(12): 854-859.

Tourny-Chollet C, Seifert L, Chollet D. Effect of force symmetry on coordination in crawl. International Journal of Sports Medicine. 2009; 30(03): 182-187.

Toussaint HM, Beek PJ. Biomechanics of competitive front crawl swimming. Sports Medicine. 1992; 13(1): 8-24.

Tweedy SM, Vanlandewijck YC. International Paralympic Committee position stand background and scientific principles of classification in Paralympic sport. British Journal of Sports Medicine. 2011; 45(4): 259-269.

Vorontsov A. Strength and power training in swimming In: World book of swimming: From science to performance. Eds: Seifert L., Chollet D., Mujika I, editors, 2011; p:313-344.

Watkins J. The effects of leg action on performance in the sprint front crawl stroke. Biomechanics and Medicine in Swimming. 1983; 310-314.

Wu SK, Williams T. Paralympic swimming performance, impairment, and the functional classification system. Adapted Physical Activity Quarterly. 1999; 16(3): 251-270.

Yanai T. What causes the body to roll in front-crawl swimming?. Journal of Applied Biomechanics. 2001; 17(1): 28-42.

Yeater RA, Martin RB, White MK, Gilson KH. Tethered swimming forces in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. Journal of Biomechanics. 1981; 14(8): 527-537.

Zamparo P, Gatta G, Pendergast D, Capelli C. Active and passive drag: the role of trunk incline. European Journal of Applied Physiology. 2009; 106(2): 195-205.

Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

BAŞVURU BİLGİLERİ	**PROTOKOL KODU**	**09.2017.609**
	PROJE ADI	Ampute Yüzücülerde Kinetik ve Kinematik Parametrelerdeki Değişimin Performansa Etkisi
	SORUMLU ARAŞTIRICI ÜNVANI/ADI	Doç. Dr. Yaşar TATAR

KARAR BİLGİLERİ	**Tarih 06.10.2017** **Yukarıda başvuru bilgileri verilen araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve gerçekleştirilmesinde sakınca bulunmadığı için Kurulumuzca onaylanmasına oy birliği ile karar verilmiştir. Onay sonrasında yapılacak her türlü proje değişiklikleri (katılımcılar, başlık vb.) veya protokol değişikliklerinin Etik Kurula bildirilerek proje onayının yenilenmesi gerekmektedir.**

ÜYELER

Unvanı / Adı / Soyadı	Uzmanlık Dalı	Kurumu / EK Üyeliği	Onaylanan Proje ile İlişkisi	Toplantıya katılım	İmza
Prof.Dr. Haner DİRESKENELİ	Romatoloji	M.Ü Tıp Fakültesi/ Başkan	Var Yok	Evet Hayır	
Prof.Dr. Tülin ERGUN	Dermatoloji	M.Ü Tıp Fakültesi/Başkan Yrd.	Var Yok	Evet Hayır	
Prof. Dr. Şefik GÖRKEY	Tıp Tarihi ve Etik	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Prof.Dr. Handan KAYA	Patoloji	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Prof.Dr. M.Bahadır GÜLLÜOĞLU	Genel Cerrahi	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Prof.Dr. Atila KARAALP	Farmakoloji	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Prof.Dr. Semra SARDAŞ	Eczacı	M.Ü Eczacılık Fak./Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Prof.Dr. Başak DOĞAN	Diş Hekimi	M.Ü Diş Hekimliği Fak./Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Prof. Dr. Beste Melek ATASOY	Radyasyon Onkolojisi	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Doç. Dr. Elif KARAKOÇ AYDINER	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Doç.Dr. Meltem KORAY	Diş Hekimi	İstanbul Üniv. Diş Hekimliği Fak./Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Doç. Dr. Gürkan SERT	Hukukçu	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Yrd.Doç.Dr: Figen DEMİR	Halk Sağlığı	Acıbadem Üniv. Tıp Fak.	Var Yok	Evet Hayır	
Yrd.Doç.Dr. Pınar Mega TİBER	Biyofizik	M.Ü Tıp Fakültesi/Üye	Var Yok	Evet Hayır	
Gözde Aynur MİRZA	Sağlık Mensubu olmayan kişi	Serbest	Var Yok	Evet Hayır	

Eurasian Research in Sport Science • Avrasya Spor Bilimleri Araştırmaları • ERISS • Cilt 5, Sayı 2 • Aralık 2020,
ISSN 2636-8269, ss. 128-137 • DOI: 10.35333/ERISS.2020.275

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Alt veya Üst Ekstremite Ampute Simulasyonunun Serbest Yüzme Performansı Üzerine Etkisi: Ön Çalışma

The Effects of Upper or Lower Limb Amputee Simulation on Front Crawl Swimming Performance: Preliminary Study

Nejla GERÇEK*
Yaşar TATAR**
Selda UZUN***

Öz

Bu çalışmanın amacı, alt veya üst ekstremite ampute simulasyonunun serbest yüzme sırasında üretilen ilerletici kuvvete etkisinin incelenmesidir. Çalışmaya 15-25 yaş aralığında 11 sağlıklı yüzücü dahil edilmiştir. Yüzücülerin tek kolları veya tek bacakları bağlanarak ampute simulasyonu oluşturulmuştur. Yüzücülerden üç farklı yüzme koşulunda (normal serbest yüzme, kol ampute simulasyonuyla ve bacak ampute simulasyonuyla serbest yüzme) 10 saniye boyunca maksimum hızda yüzmeleri istenmiştir. İpe bağlı yüzme sistemiyle elde edilen zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve impuls değerleri incelenmiştir. Normal, kol amputasyonunun simule edildiği ve bacak amputasyonunun simule edildiği serbest yüzme sırasında oluşturulan zirve kuvvet, ortalama zirve kuvvet ve impuls değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p<0,05$). Kol ve bacak amputasyonun simule edildiği koşullar karşılaştırıldığında ise, sadece impuls değerlerinde anlamlı fark bulunmuştur ($p<0,05$). Kol veya bacak ampute simulasyonunun yüzme sırasında oluşturulan ilerletici kuvvet üzerinde negative etkisinin olması, ampute yüzücülerin sağlıklı akranlarına göre serbest yüzme sırasında dezavantajlı olduklarını göstermektedir. Kol ampute simulasyonuyla yüzme sırasında oluşturulan impuls bacak ampute simulasyonuyla oluşturulana göre daha fazla azaltmıştır. Bu sonuçlar, Uluslararası Paralimpik Komitenin tek dirsek üstü ampute ve tek diz seviyesi ampute olan yüzücülerin farklı yüzme sınıflarında yarışması gerektiği kararını desteklemektedir. Yüzme sırasında oluşturulan ilerletici kuvvetlerin ölçülmesi, engelli yüzücülerin yarışma sınıflamasının objektif olarak yapılabileceği bir yöntem olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Ampute, engelli sporcu, Paralimpik Oyunlar, yüzme, sınıflama

Abstract

The aim of this study was to examine the effect of lower and upper limb restriction on the magnitude of the propulsive force in simulated amputee front crawl swimmers. Eleven healthy male swimmers ages 15-25

* Arş. Gör., Marmara Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, nejla.gercek@marmara.edu.tr
** Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, ytatar@marmara.edu.tr
*** Doç. Dr. Marmara Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, seldauzun@marmara.edu.tr

Makale Gönderim Tarihi: 02.10.2020
Yayına Kabul Tarihi: 14.12.2020

years with simulated arm or leg amputation were participated in the study. Swimmers have been simulated amputees by restraining their single arms or legs. The swimmers were asked to swim at maximum speed for 10 seconds in three different conditions: normal front crawl swimming (N-FCS), arm amputee simulated front crawl swimming (ASA-FCS), leg amputee simulated front crawl swimming (LSA-FCS). Peak force, average peak force and average impulse values were examined using tethered swimming system. There were statistically significant differences in peak force, average peak force and average impulse values between N-FCS, arm amputee simulated FCS and leg amputee simulated FCS ($p<0,05$). When the arm amputee simulated FCS and leg amputee simulated FCS conditions were compared, statistically significant difference was found only in average impulse values ($p<0,05$). The negative effect of the arm or leg amputee simulation on propulsive force shows the disadvantage of amputee swimmers compared to their healthy peers in front crawl swimming. Arm amputee simulation decreased the average impulse more than leg amputee simulation. These results may support the decision of the International Paralympic Committee that single above elbow amputees and single thru knee amputees should compete in different swimming classes. Measuring swimming propulsive forces can be used as an objective method for classifying disabled athletes.

Keywords: Amputee, disabled athlete, Paralympics, swimming, the classification

INTRODUCTION

Swimming performance is determined by finishing the race distance in the shortest time. It is affected by the physiological, morphological, psychological and biomechanical characteristics of the swimmer (Dyer and Deans, 2017; Toussaint and Beek, 1992). Swimming kinematics examining stroke/kick frequency and length (Osborough, et al., 2010), and kinetics examining propulsive forces produced by extremities (Toussaint and Beek, 1992; Deschodt, Arsac and Rouard, 1999; Lecrivain et. al, 2008) are frequently focused subjects included in studies on swimming biomechanics. In these studies, it was reported that the highest percentage of the propulsive force in front crawl swimming was produced by the upper extremities. Although the force produced by the lower extremities is lower, its effect in reducing body oscillations (Gourgoulis et al., 2014) and on performing effective arm stroke (Deschodt, et al., 1999) increase its importance in swimming performance.

The increase in popularity of sports for people with disabilities has increased the number of studies on improving performance and ensuring fair races in these individuals. Swimming speed of disabled athletes has been reported 15-20% lower than healthy swimmers (Lee, et al., 2014). In a study on amputee swimmers, it has been reported that unilateral elbow amputation decreases the propulsive force produced by 20% (Lecrivain et al., 2010). There were no study evaluating the effect of lower limb amputation on swimming performance. However, it has been found that leg kick increases swimming speed by 10% in healthy swimmers (Deschodt, et al., 1999). These studies which examine the effect of upper and lower limbs on swimming performance is often investigated during arm or leg restricted swimming (Deschodt, et al., 1999; Gourgoulis et. al., 2014). In addition, amputation was also simulated by restriction in many studies which tests situations such as walking and running (Wells, 1979; Goh, et al., 1986; Fujishita et. al., 2018). This method was frequently used because of the problems in forming homogeneous groups in the studies carried out in individuals with disabilities.

In Paralympic games, amputee individuals compete in several categories according to the number of affected extremities and amputation level differences affecting their mobility skills. However, the effects of different amputation levels and amputation numbers on swimming performance are not clear. It is also a problem that the classification system does not make a clear distinction between adjacent classes (Oh et al., 2013). Paralympic swimming classification system is mainly based on expert opinions rather than experimental findings (IPC,2007). Therefore, the effects of different amputation levels on swimming performance may not be evaluated objectively. Using experimental methods to provide more objective assessment in classification may clarify these problems of the classification system in Paralympic swimming (Keogh, 2011).

The purpose of this study was to investigate the effect of upper or lower limb amputee simulation on the magnitude of the propulsive force produced during front crawl swimming. Since the highest percentage of propulsive force in front crawl swimming was produced by upper extremities, then it would be expected that arm amputee simulation would affect swimming performance more negatively. The hypothesis for this study was that arm restriction would reduce the propulsive force more than the leg restriction in front crawl swimming.

Materials and Methods

Participants: Eleven healthy male swimmers ages between 15-25 years were participated in the study (Table 1). The study was carried out by simulating healthy swimmers into amputees restraining their single arms or legs. Swimmers' dominant arms or dominant legs were restricted by attaching the limbs to their own bodies. This study was carried out with healthy swimmers with similar training background due to the problem of finding a sufficient number of homogeneous amputees (same amputation level with similar training background).

The swimmers who have at least four years of training age, compete in the front crawl category and have no additional problems affecting swimming performance were included in the study. Swimmers who had any physical problems that would affect the swimming performance during the measurements and who had unexpected adjustment problems during the measurements were excluded from the study. Local ethics committee approval was obtained before the study (Protocol code: 09.2017.609). The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approval forms were received before the study.

Table 1. Characteristics of the subjects

	Mean	SD
Age (year)	19.55	2.84
Height (m)	1.79	0.08
Weight (kg)	77.35	7.80
Training Age (year)	9.55	3.33

Measurements: Body composition measurements were made before the swimming tests. Enough time were given to each participant for warm-up on land and in water. The propulsive forces applied by swimmers during three different swimming conditions were measured using tethered swimming system.

The swimmers were asked to swim at maximum speed for 10 seconds in three different conditions; normal front crawl swimming (N-FCS) (Figure 1), arm amputee simulated (the dominant arm restricted) front crawl swimming (ASA-FCS) (Figure 2), leg amputee simulated (the dominant leg restricted) front crawl swimming (LSA-FCS) (Figure 3). Three seconds were given for the participants to settle in the water and reach the maximal effort. After three seconds, light was reflected into the water to show the start of the recording. In N-FCS condition, normal front crawl swimming was performed. In ASA-FCS condition, arm was fixed to the body by attaching from the elbow (Figure 2), and in LSA-FCS condition, lower leg was fixed on the upper leg (Figure 3). Swimming tests were carried out using tethered swimming in which the swimmers were attached to a load cell system by the non-stretch rope on the waist. After each test, 10 minutes of break were given to ensure adequate rest. Prior to each protocol, familiarization swimming trials were made to adapt the swimmer to the device and the different swimming conditions.

The propulsive forces were measured using tethered swimming system. It consists of a load cell and non-stretch rope attached to load cell. In the tethered swimming system for evaluating the propulsive force of the whole body, the non-elastic rope was fixed to the waist of the swimmer. Propulsive forces were measured using S type load cell. Data was collected with an indicator at 50 Hz sampling rate and recorded on the computer.



Figure 1: Normal Front Crawl Swimming

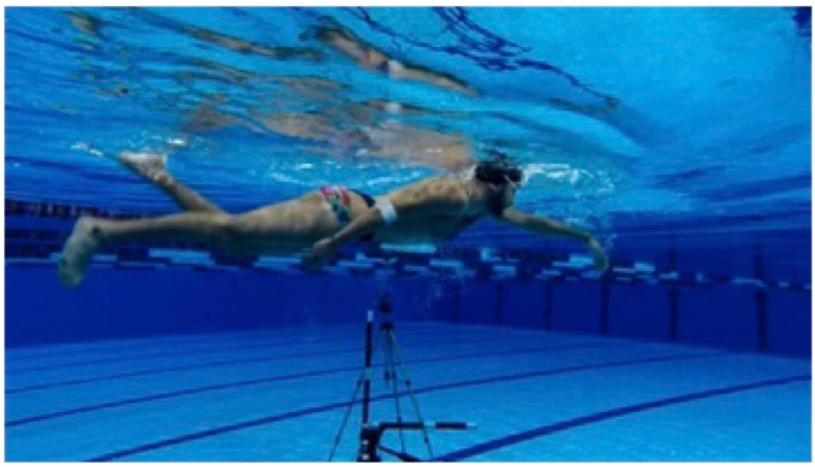


Figure 2: Arm Amputee Simulated Front Crawl Swimming

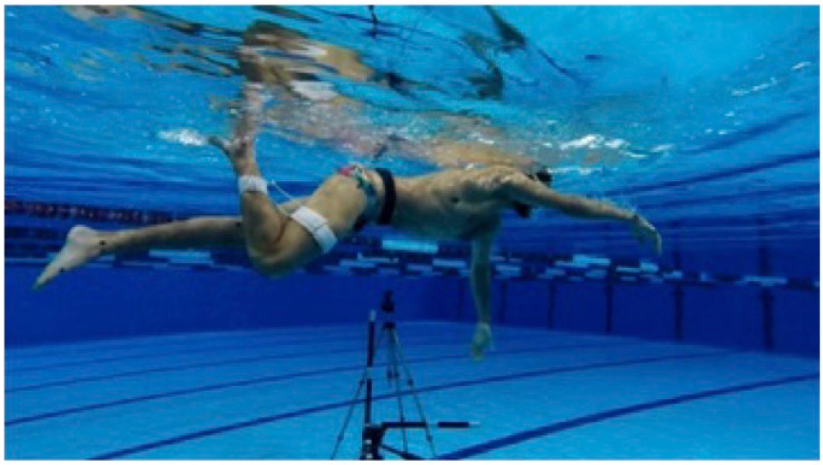


Figure 3: Leg Amputee Simulated Front Crawl Swimming

Data Processing: The data received from tethered swimming system was transferred to the computer and saved in the Excel file format. Excel files were transferred to Mat Lab and the force signals was plotted for each repetition. It was observed that athletes performed 8-9 arm strokes in ten seconds swimming tests. The first and the last three strokes were removed and the remaining three strokes in the middle were evaluated. Peak force values of each arm stroke were measured and the average peak force and impulse values were calculated.

Data Analysis: Statistical analyses were performed using SPSS (SPSS, SPSS Inc, Chicago, IL, USA). To assess the normality of the distribution of data, skewness and kurtosis values, histogram and Q-Q plot graphs were examined and statistical analysis was done using the Shapiro Wilks test. In the results obtained, it was determined that the data were not normally distributed. For this reason, the peak force, mean peak force and impulse values obtained in all three conditions were compared with Friedman test. The differences between each two protocols were analysed using Wilcoxon test. All statistical tests were performed 2-way and p value <0.05 was considered statistically significant. The percentage differences of the data were also calculated.

Results

Table 2. Comparison of peak force, average peak force and impulse values in three swimming conditions

	Swimming Conditions			
	N-FCS	**ASA-FCS**	**LSA-FCS**	**Three Swimming Condition Comparison**
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	p
Peak Force (kg)	26.73 (4.33)	20.64 (4.02)	23.09 (3.72)	.001*
Average Peak Force (kg)	24.92 (4.43)	19.53 (3.96)	20.61 (2.31)	.001*
Impulse (kg*sec)	13.36 (2.39)	9.00 (1.99)	10.61 (1.61)	.000*

Note: *p < 0.05

According to the data evaluated during tethered swimming; peak force, average peak force and impulse values of "N-FCS", "ASA-FCS" and "LSA-FCS" tests were significantly different (p<0.05) (Table 2).

Table 3. Comparison of peak force, average peak force and impulse values in each two swimming conditions

	Peak Force	**Average Peak Force**	**Impulse**
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)
N-FCS vs ASA-FCS			
Normal	26.73 (4.33)	24.92(4.43)	13.36 (2.39)
Arm Amputee Simulated	20.64 (4.02)	19.53 (3.96)	9.00 (1.99)
p	.003*	.003*	.003*
N-FCS vs LSA-FCS			
Normal	26.73 (4.33)	24.92(4.43)	13.36 (2.39)
Leg Amputee Simulated	23.09 (3.72)	20.61 (2.31)	10.61 (1.61)
p	.023*	.008*	0.004*
ASA-FCS vs LSA-FCS			
Arm Amputee Simulated	20.64 (4.02)	19.53 (3.96)	9.00 (1.99)
Leg Amputee Simulated	23.09 (3.72)	20.61 (2.31)	10.61 (1.61)
p	.052	.266	0.008*

Note: *p < 0.05

Comparing N-FCS and ASA-FCS tests statistically significant differences were found in peak force, average peak force and impulse values ($p<0.05$) (Table 3). When N-FCS and ASA-FCS tests were compared statistically significant differences were found in peak force, average peak force and impulse values ($p<0.05$) (Table 3). Between "ASA-FCS" and "LSA-FCS" tests peak force and average peak force values were not statistically different ($p<0.05$). Between these two groups there was a statistically significant difference only in impulse values ($p<0.05$) (Table 3).

Table 4. Percentage differences in peak force, average peak force and impulse values between each two swimming conditions

	Peak Force % difference	**Average Peak Force** % difference	**Impulse** % difference
Normal – Arm Amputee Simulated	22.18	21.27	32.08
Normal – Leg Amputee Simulated	12.26	15.68	18.96
Arm Amputee Simulated – Leg Amputee Simulated	10.05	5.45	15.20

Discussion

In this study, it is found that the propulsive force generated during normal front crawl swimming was higher than the arm and leg amputee simulated swimming conditions. When the arm and leg amputee simulated swimming conditions were compared, it is found that arm restriction effects the propulsive force more than the leg restriction during front crawl swimming.

During front crawl swimming, it is determined that reduction on average peak force and impulse during arm amputee simulated swimming were higher than the leg amputee simulated swimming. This result is parallel with studies showing that the contribution of the upper extremities to the propulsive force is much more than the lower extremities (Deschodt, Arsac and Rouard, 1999; Toussaint and Beek, 1992). As the restriction of the arm will affect body rotation more than the restriction of the leg, it may have caused a further propulsive force reduction. Although lower extremities generate less propulsive force than the upper extremities, the role of leg kicks in changing the trajectory of the hand (Deschodt, et al., 1999), reducing body oscillations (Gourgoulis et al., 2014) and balancing the rotational torques (Sanders, 2015) should be considered.

Single arm amputee front crawl swimming time is 15-20% slower than healthy swimmers (Lee, et al., 2014). In this study, arm amputee simulated front crawl swimming average peak force and impulse values were also lower than the normal front crawl swimming. This is parallel with the study of Lee, Sanders and Payton. But, the difference between single elbow amputee and healthy swimmers is greater than the difference between single arm amputee simulated and normal swimming condition in this study. This difference between studies supports the results of Lecrivain et. al. (2008).

Using computational fluid dynamic model, Lecrivain et. al (2008) found that elbow amputee swimmers produce additional force with the stump. In the study of Lee, Sanders and Payton, during single elbow amputee swimming (paralympic swimming S9 category), the stump, even if it is not the same size, may contribute to the propulsive force and rotation partially. In this study, arm amputee

simulation (entire single arm restriction) mimics above elbow amputation (paralympic swimming S8 category). The restriction of the entire limb caused significant reduction in propulsive area and limited the shoulder rotation. These made it impossible to produce force with this extremity and resulted a more negative effect on propulsion. These results also support the paralympic classification system that above elbow and elbow disarticulation amputees competes in different swimming categories.

Deschodt, et al. (1999)'s study on healthy swimmers shows that restriction of single arm and two legs reduced the swimming performance by 4% and 10% respectively. These percentages are lower than the results of this study. However, in their study, while swimming performance was evaluated with swimming speed, in our study, it was evaluated using peak force and impulse. The difference between the arm and leg restriction methods in the aforementioned study is also a difference between the studies. In their study, during single arm restricted swimming, swimmers kept their restricted arms outstretched in front of their body, but in our study, the restricted arm was fixed to the body by attaching from the elbow. And, during two leg restriction a pull buoy was placed between the legs and lower extremities could be kept on water without effort. But, in this study, the restriction was made by fixing the lower legs of the swimmers to their own upper legs. In this condition, carrying the limb weight caused by the style of leg restriction may have resulted in the need to spend extra effort during swimming and this may have caused a greater reduction in the propulsive force. This variations between methods may have caused different results.

In addition to the limb restriction method, Swaine et. al., (2010) measured the contribution of each limb to swimming performance within the same swimming cycle in dryland. They found that contribution of the right leg and right arm to swimming performance were 16% and 29% respectively, which were relatively similar to this study. In the study of Swaine et. al., carrying the limb weight was also similar to our study. However, it is a disadvantage that the drag forces occurring during swimming cannot be taken into account in dryland measurement methods.

It has been reported that the current classification system for swimming provides a fair competition for disabled swimmers (Wu and Williams, 1999). However, in a study which assess the objectivity of the classification system by determining the relationship between passive drag and level of swimming specific impairment, it was reported that the current classification system does not always make a clear distinction between adjacent classes (Oh et. al., 2013). Due to these different research results, the need to develop a more objective classification system based on experiments has also been questioned (IPC, 2007; Keogh, 2011; Tweedy and Vanlandewijck, 2011).

In this study, arm amputee simulated swimming caused a further decrease in the propulsive force compared to leg amputee simulated swimming. This supports the current classification system, where swimmers with arm amputation compete in the S8 category, and swimmers with above knee amputee competes in the S9 category where there are less severe disabled people. These results support the view that the current swimming system is successful in classification. In addition, this objective data obtained by biomechanical analysis in this study can eliminate the problems that arise

in distinguishing between adjacent classes. Further research is needed for examining the effect of different amputation levels and especially multiple amputations on swimming performance.

Limitations

Due to the problem of finding a sufficient number of homogeneous amputees this study was carried out with healthy swimmers with similar training background. As the study is a preliminary study, power analysis has not been performed.

Acknowledgements

This study is supported by Marmara University, Sports Science and Athletes Health Application and Research Centre and Physical Disability Foundation (FEV). The equipments used in this research supplied by the Marmara University as part of a scientific research project (Project Code: SAG-C-DRP-110.618.0310).

References

Deschodt, V. J., Arsac, L. M., & Rouard, A. H. (1999). Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80(3), 192-199.

Dyer, B. T., & Deans, S. A. (2017). Swimming with limb absence: A systematic review. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Egineering*, (4), 1-10.

Fujishita, H., Urabe, Y., Maeda, N., Komiya, M., Sakai, S., Hirata, K., ... & Kimura, H. (2018). Biomechanics of single-leg running using lofstrand crutches in amputee soccer. Journal of physical therapy science, 30(12), 1483-1487.

Goh, J. C. H., Toh, S. L., & Bose, K. (1986). Biomechanical study on axillary crutches during single-leg swing-through gait. Prosthetics and Orthotics International, 10(2), 89-95.

Gourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Toubekis, A., Antoniou, P., Kasimatis, P., ... & Mavromatis, G. (2014). The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences*, 32(3), 278-289.

International Paralympic Committee. (2007). IPC classification code and international standards.

Keogh, J. W. (2011). Paralympic sport: an emerging area for research and consultancy in sports biomechanics. *Sports Biomechanics*, 10(3), 234-253.

Lecrivain, G., Payton, C., Slaouti, A., & Kennedy, I. (2010). Effect of body roll amplitude and arm rotation speed on propulsion of arm amputee swimmers. *Journal of biomechanics*, 43(6), 1111-1117.

Lecrivain, G., Slaouti, A., Payton, C., & Kennedy, I. (2008). Using reverse engineering and computational fluid dynamics to investigate a lower arm amputee swimmer's performance. *Journal of Biomechanics*, 41(13), 2855-2859.

Lee, C. J., Sanders, R. H., & Payton, C. J. (2014). Changes in force production and stroke parameters of trained able-bodied and unilateral arm-amputee female swimmers during a 30 s tethered front-crawl swim. *Journal of sports sciences*, 32(18), 1704-1711.

Oh, Y. T., Burkett, B., Osborough, C., Formosa, D., & Payton, C. (2013). London 2012 Paralympic swimming: passive drag and the classification system. *British journal of sports medicine*, 47(13), 838-843.

Osborough, C. D., Payton, C. J., & Daly, D. J. (2010). Influence of swimming speed on inter-arm coordination in competitive unilateral arm amputee front crawl swimmers. *Human movement science*, *29*(6), 921-931.

Sanders, R. H. (2013). How do asymmetries affect swimming performance? *Journal of Swimming Research*, 21(1).

Swaine, I. L., Hunter, A. M., Carlton, K. J., Wiles, J. D., & Coleman, D. (2010). Reproducibility of limb power outputs and cardiopulmonary responses to exercise using a novel swimming training machine. *International journal of sports medicine*, 31(12), 854-859.

Toussaint, H. M., & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports medicine*, *13*(1), 8-24.

Tweedy, S. M., & Vanlandewijck, Y. C. (2011). International Paralympic Committee position stand—background and scientific principles of classification in Paralympic sport. *British journal of sports medicine*, 45(4), 259-269.

Wells, R. P. (1979). The kinematics and energy variations of swing-through crutch gait. Journal of biomechanics, 12(8), 579-585.

Wu, S. K., & Williams, T. (1999). Paralympic swimming performance, impairment, and the functional classification system. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 16(3), 251-270.

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı	Nejla	**Soyadı**	GERÇEK
Doğum Yeri	İstanbul	**Doğum Tarihi**	22.10.1988
Uyruğu	T.C.	**Tel**	05062205046
E-mail	nejla.gercek@marmara.edu.tr		

Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	**Mezuniyet Yılı**
Doktora	Marmara Üniversitesi-Sağlık Bilimleri Enstitüsü-Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı	2020
Yüksek Lisans	Marmara Üniversitesi-Sağlık Bilimleri Enstitüsü-Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı	2015
Lisans	Marmara Üniversitesi-Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu-Antrenörlük Eğitimi	2010

İş Deneyimi

Görevi	**Kurum**	**Süre (Yıl - Yıl)**
1	Marmara Üniversitesi – Arş. Görevlisi	2013-Halen
2		
3		

Yabancı Dilleri	**Okuduğunu Anlama***	**Konuşma***	**Yazma***
İngilizce	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
Almanca	Zayıf	Zayıf	Zayıf

Yabancı Dil Sınav Notu #								
YDS	ÜDS	IELTS	TOEFL IBT	TOEFL PBT	TOEFL CBT	FCE	CAE	CPE

	Sayısal	**Eşit Ağırlık**	**Sözel**
ALES Puanı			
(Diğer) Puanı			

Bilgisayar Bilgisi

Program	**Kullanma becerisi**
Microsoft Office	Çok iyi

***Çok iyi, iyi, orta, zayıf olarak değerlendiriniz.