

# BÖLÜM 7

## ÇOCUKLARDA EGZERSİZE VENTİLATUAR YANITLAR

Selcen KORKMAZ ERYILMAZ<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Çocuklarda egzersize verilen kardiyorespiratuar ve metabolik cevaplar yetişkinlere göre farklıdır. Bu farklılıkların çocukların daha düşük kardiyovasküler ve ventilasyon verimliliğine sahip olmaları, vücut boyutlarının daha küçük olması, solunumun merkezinin henüz olgunlaşmamış olması, CO<sub>2</sub> depo kapasitesinin ve hücresele düzeyde CO<sub>2</sub> üretiminin daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Ohuchi & ark., 1999; Prado & ark., 2010). Bununla birlikte çocukların egzersiz sırasında daha yüksek metabolik etkinlik gösterdikleri bildirilmiştir (Prado & ark., 2010).

Literatürde, dinlenme ve egzersiz sırasında çocukların ve yetişkinlerin solunum modellerindeki farklılıklar ortaya konmuştur (Cooper & ark., 1987; Ondrak & McMurray, 2006). İstirahatte, submaksimal ve maksimal egzersiz sırasında, çocuklar yetişkinlere kıyasla daha düşük mutlak dakika ventilasyonuna, mutlak tidal hacme ve karbondioksite (CO<sub>2</sub>) sahiptir (Cooper & ark., 1987; McMurray & ark., 2003). Öte yandan çocukların solunum sıklığı, kilogram vücut ağırlığı başına ventilasyon ve oksijen için solunumsal eşitliği yetişkinlerden daha yüksektir (McMurray & ark., 2003; Rowland & Cunningham, 1997). Belirli bir submaksimal iş yükünde çocuklar yetişkinlere göre daha yüksek kalp hızı değerlerine ve daha düşük atım hacmine sahiptirler (Vinet & ark., 1997). Çocuklar büyüdükçe boy artışı hava yolu direncinin azalması ve solunum sisteminin artan kompliyansı ile ilişkili olarak solunum mekanikleri de değişir (Lanteri & Sly, 1993). Araştırmalar ayrıca çocukların, ergenlere veya yetişkinlere kıyasla CO<sub>2</sub>'e daha duyarlı olduğunu göstermiştir (Cooper & ark., 1987; Gratas-Delamarche & ark., 1993). Bu bulgulardan dolayı çocukların ye-

<sup>1</sup> Doç. Dr., Çukurova Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, selcen\_korkmaz@yahoo.com

tişkinlerden farklı solunum fizyolojisine sahip olduğu görülmektedir (Ondrak & McMurray, 2006).

## **ÇOCUKLARDA KARDİYOPULMONER EGZERSİZ TESTLERİ SIRASINDA VENTİLATUAR YANITLAR**

İnsan vücudunda egzersiz sırasında artan oksijen talebini karşılamak ve artan CO<sub>2</sub> üretimini uzaklaştırmak için birçok fizyolojik değişiklik ortaya çıkar (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020). Kardiyopulmoner egzersiz testleri (KPET), farklı kardiyopulmoner parametrelerle değerlendirilen çeşitli egzersiz tolerans mekanizmalarıyla ilgilidir. Kardiyopulmoner egzersiz test bataryası kullanılarak egzersiz sırasında gaz değişimlerinin ölçülmesi, egzersizin kişide yarattığı metabolik stresin, pulmoner, kardiyovasküler ve hücresel yanıtlarını değerlendirme imkanı sağlamaktadır. Genel olarak dikkate alınması gereken birkaç önemli KPET parametresi vardır: (i) En yüksek kalp atım hızı; şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında gözlemlenen en yüksek kalp hızıdır, (ii) Solunum değişim oranı (RER); VCO<sub>2</sub>'in VO<sub>2</sub>'ye oranıdır (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>); (iii) Solunumsal anaerobik eşik; şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında anaerobik metabolizmanın baskın olarak kullanılmaya başladığı noktadır, (iv) Solunum kompanzasyon noktası; şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında (laktatın hidrojeninin [H<sup>+</sup>] bikarbonat ile tamponlaması sonucu ekstra CO<sub>2</sub> üretimine cevap olarak) hiperventilasyonun başlangıcıdır, (v) Maksimal oksijen alımı (VO<sub>2max</sub>); şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında ölçülen en yüksek oksijen alımıdır (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020).

Çocuklar, ergenlere ve yetişkinlere kıyasla belirli bir aerobik metabolik talep için daha fazla ventilasyon yaparlar. Çocukların daha fazla ventilasyon cevabı daha yüksek ölü boşluk ventilasyonu ve daha düşük CO<sub>2</sub>'nin arteriyel kısmi basıncı (PaCO<sub>2</sub>) ayar noktasının sonucu olabileceği düşünülmektedir (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020). Çocukların, ergenlere kıyasla egzersiz sırasında daha yüksek CO<sub>2</sub>'in tidal (soluk) sonu gaz basıncı (PETCO<sub>2</sub>) değerleri ve daha yüksek CO<sub>2</sub> için ventilasyon eşitliği (VE/VCO<sub>2</sub>) eğimi olduğu bulunmuştur (Cooper & ark., 1987). Şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında çocuklarda yetişkinlere kıyasla daha az tidal volüm ve VCO<sub>2</sub> (muhtemelen düşük laktat üretimi kaynaklı) gözlenir. Çocuklarda vücut ağırlığı başına daha yüksek bazal metabolizma hızı (yüksek VO<sub>2</sub>/kg) olması nedeniyle kilogram başına VCO<sub>2</sub>'de genç yetişkinlere göre daha yüksektir (Ohuchi & ark., 1999).

VE, VO<sub>2</sub> ve tidal volüm için mutlak değerleri beklendiği gibi erkeklerde ve kadınlarda yaş ile birlikte artış gösterir (McMurray & ark., 2003; Ondrak & McMurray, 2006). VE/VO<sub>2</sub>, çocuklar büyüdükçe azalır (McMurray & ark., 2003; Ondrak & McMurray, 2006). Benzer şekilde solunum frekansı da yaşla birlikte azalır (Ondrak & McMurray, 2006).

### **Maksimal Oksijen Alımı (VO<sub>2</sub>max)**

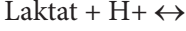
VO<sub>2max</sub>, çocuklarda kardiyorespiratuar uygunluk ve fonksiyonel kapasitenin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir indekstir (Paridon & ark., 2006; Lintu & ark., 2015). Ayrıca çocuklar arasında egzersiz sırasında ve sonrasında normal cevapları belirlemek için solunum parametrelerinin yanı sıra kalp hızı (KH) ve sistolik kan basıncının (SBP) değerlendirilmesi de önemlidir (Paridon & ark., 2006; Lintu & ark., 2015).

VO<sub>2max</sub> aerobik kapasitenin nesnel göstergesidir ve aerobik dayanıklılık performansı ile yakından ilişkilidir. Bir egzersiz testi sırasında VO<sub>2max</sub>'a ulaşmak için geleneksel kriter, egzersiz şiddetinde artışa rağmen VO<sub>2</sub>'de bir düzleşme veya plato oluşmasıdır (Howley, Bassett & Welch, 1995). Ancak kardiyopulmoner egzersiz testleri sırasında sedanter yetişkinlerde olduğu gibi çocuklarda da bu platoya ulaşmak mümkün olmayabilir. Bu durumda ulaşılan en yüksek oksijen alım değeri, VO<sub>2max</sub> yerine tepe veya pik oksijen alımı (VO<sub>2pik</sub>) olarak ifade edilir (Howley, Bassett & Welch, 1995; Armstrong, Welsman, & Kirby, 1998).

Çocukların ve ergenlerin VO<sub>2pik</sub> değerleri egzersiz modundan bağımsız olarak hem erkeklerde hem de kadınlarda kronolojik yaşla birlikte doğrusal bir artış göstermektedir (Armstrong & Welsman, 1994). Bununla birlikte çocukların ve ergenlerin egzersize fizyolojik cevapları, biyolojik ve kronolojik yaşla ilişkili olarak düşünülmelidir (Armstrong & ark., 1995). Erkeklerin VO<sub>2pik</sub> değerleri, ergenlikten önce bile kızlardan daha yüksektir. Ergenlik sırasında ve sonrasında cinsiyet fark daha belirgin hale gelir (Armstrong & Welsman, 1994). Erkeklerde olgunlaşma ile birlikte VO<sub>2pik</sub>'deki artış, daha fazla kas kütlesine ve daha yüksek hemoglobin konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir (Armstrong & ark., 1995). Ancak kızlarda bu konu daha az açıktır. Bununla birlikte VO<sub>2pik</sub> vücut kütlesi ile orantılı olarak ifade edildiğinde (yani, ml·kg<sup>-1</sup>·dak<sup>-1</sup>), her iki cinsiyette de olgunlaşma ile değişmeden kaldığı gösterilmiştir (Armstrong & ark., 1995).

## **Dakika Ventilasyonu (VE)**

Şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında egzersiz şiddetindeki artış bir süre sonra anaerobik metabolizmanın baskın olarak kullanılmasını zorunlu kılar. Anaerobik eşik veya solunumsal eşik olarak tanımlanan bu egzersiz şiddetinden sonra biriken laktik asitten ayrılan hidrojen iyonları (H<sup>+</sup>), bikarbonat iyonu (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ile tamponlanır.



Oluşan karbonik asit (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), kimyasal olarak su ve karbondioksit ayrılır. Dolayısıyla anaerobik eşikten sonraki egzersiz şiddetlerinde aerobik metabolizma tarafından üretilen CO<sub>2</sub>'te ilave olarak, CO<sub>2</sub> üretiminde artış görülür. H<sup>+</sup>'nin tamponlanmasıyla artan karbondioksit yanıt olarak ventilasyon hızlanmaya başlar (Wasserman, 1984). Egzersiz sonlandırılmayıp devam ettirilirse egzersizin ilerleyen aşamalarında H<sup>+</sup> dolaşımdaki bikarbonatın tamponlama kapasitesini aşar ve kan pH'nin asit tarafa kaymasına neden olur. Asidoz perferal kemo reseptörleri (karotid cisimciklerini) uyararak hiperventilasyona neden olur (Wasserman, 1984). Hiperventilasyon yanıtının başladığı egzersiz şiddeti, solunumsal kompanzasyon noktası olarak adlandırılır (Meyer & ark., 2004). Çocuklarda solunumsal eşik ve solunumsal kompanzasyon noktası, yetişkinlerde olduğu gibi antrenman durumuna bağlı olarak değişir. Bu değişkenler sedanter çocuklarda, sedanter yetişkinlerden daha iyi olabilir (Prado & ark., 2010).

Çocukluktan ergenliğe kadar, egzersiz sırasında ventilasyonla ilgili belirli gelişim yönleri ortaya çıkar. Büyümeyle birlikte dakika ventilasyonu (VE) ve VE'nin verimliliği artar. Verimlilikteki bu değişiklik, solunum frekansında azalmaya eşlik eden tidal hacimdeki artışla açıklanmaktadır (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020). Çocukların istirahat ventilasyonları yetişkinlere göre daha yüksektir (Gratas-Delamarche & ark., 1993). Egzersiz sırasında oksijenle beraber ventilasyon da yetişkinlere kıyasla çocuklarda daha yüksektir (Gratas-Delamarche & ark., 1993). Ayrıca istirahatte ve egzersiz sırasında, inspiratuar nöral dürtünün her iki göstergesi olan ortalama inspiratuar akım çocuklarda daha yüksektir. Ancak arteriyel kan gazı basıncı farklılık göstermez ve efor sırasında istirahat düzeyine yakın kalır (Gratas-Delamarche & ark., 1993).

Çocuklar egzersiz sırasında yetişkinlere kıyasla solunum frekansı daha yüksek iken tidal hacmi daha düşüktür (Ellis & ark., 2004). Egzersize verilen

ventilasyon yanıtı ile ilgili olarak, çocukların PaCO<sub>2</sub>'yi biraz daha düşük tutmak ve belirli bir CO<sub>2</sub> miktarını vücuttan uzaklaştırmak için yetişkinlere göre daha yüksek ventilasyon yaptıkları bilinmektedir (Cooper & ark., 1987). Öte yandan VE vücut ağırlığına normalize edildiğinde diğer bir ifade ile kilogram başına VE değerleri, solunumsal kompanzasyon noktasına kadar çocuklarda yetişkinlerle kıyasla biraz yüksek olabilir (Ellis & ark., 2004).

Hem istirahatte hem de egzersiz sırasında ventilasyonun çocuklarda yetişkinlere göre daha yüksek olmasında morfolojik faktörler rol oynayabilir. Ek olarak çocuklarda egzersiz sırasında nispeten daha fazla ventilasyon cevabı, egzersiz sırasında solunum merkezlerinin CO<sub>2</sub>'ye daha fazla tepki vermesi ile açıklanabilir (Gratas-Delamarche & ark., 1993). Ventilasyonun nöral kontrolünün henüz tam olarak gelişmemiş olmasının bir sonucu olarak, bu genellikle çocuklarda daha az etkili veya verimsiz bir ventilasyon yanıtını yansıttığı düşünülür (Weston & ark., 2021). 10 ila 17 yaş arasında sağlıklı çocuklarda egzersize verilen solunum yanıtlarının giderek azaldığı gösterilmiştir (Giardini & ark., 2011). Egzersize verilen solunum yanıtlarında gözlenen azalmanın mekanizmaları tam olarak bilinmemektedir. Bununla birlikte arteriyel oksijen desatürasyonunun (arteriyel hipokseminin) egzersiz sırasında hiperventilasyon cevabı ürettiği bilinmektedir (Giardini & ark., 2011). Oksijen satürasyonu istirahatte ve maksimal egzersizde normal olduğu durumlarda, farklı bir yorum yapılması gerekmektedir. Anormal temel akciğer fonksiyonu, bir perfüzyon/ventilasyon uyumsuzluğu veya kapiller-alveolar membran disfonksiyonu, egzersiz sırasında potansiyel olarak hiperventilasyona neden olabilir (Giardini & ark., 2011). Öte yandan sağlıklı çocuklarda egzersize verilen solunum yanıtlarının giderek azalması diğer faktörlerle açıklanması gerekmektedir.

### **Tidal Volüm**

Egzersiz ilk aşamalarında sağlıklı bireylerde tidal volüm (soluk hacmi), inspiratuar ve ekspiratuar yedek hacim azalarak artar. Egzersiz devam ettikçe solunum frekansı artar. Egzersiz şiddeti arttıkça hem tidal volüm hem de solunum frekansındaki artış sonucunda tidal volüm de artar. Bu belirli bir inspirasyon süresindeki akış hızını artırarak veya belirli bir akış hızında inspirasyon süresini uzatarak gerçekleştirilebilir (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020). Maksimal egzersiz sırasında tidal volüm, büyümeye bağlıdır (vücut kütleindeki ve boyundaki artışla orantılı) ve daha büyük çocuklarda daha yüksek değerler görülür. Egzersiz sırasında tidal volüm, çocuklarda ve ergenlerde

istirahatten maksimal egzersize kadar sırasıyla iki ila beş kat artabilir (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020).

### **Solunum Frekansı**

Egzersizde görülen solunum frekansındaki artış hem inspirasyon hem de ekspirasyon süresindeki azalma ile sağlanır (Mercier & ark., 1991). Ergenlik öncesi çocuklarda yüksek şiddetli egzersiz sırasında solunum frekansı, dinlenim solunum frekansının iki ila dört katıdır. Bu patern erkek ve kızlarda benzerdir. Maksimal egzersizde ölçülen solunum frekansı hem inspiratuar hem de ekspiratuar süredeki artışla ilişkili olarak yaşla birlikte azalır (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020). Solunum sıklığındaki yaşa bağlı düşüş, tidal volümde daha fazla artışla telafi edilir. Böylece maksimal egzersizde mutlak VE artışla birlikte önemli ölçüde artar (Mercier & ark., 1991). Çocukların akciğerleri yetişkinlerden daha küçüktür. Çocukların akciğerlerinin yapısal özelliklerinden dolayı akış-hacim döngüleri, çocuklarda yüksek şiddetli egzersiz sırasında solunum sınırlılıklarını ortaya çıkarabilir (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020).

### **Oksijen Alımı ve Karbondioksit Üretimi için Solunumsal Eşitlikler (VE/VO<sub>2</sub> ve VE/VCO<sub>2</sub>)**

Solunumsal eşitlikler, atmosferden alınan oksijen veya hücrelerde üretilen ve atmosfere atılan karbondioksitin metabolik hızı ile dakika ventilasyonu arasındaki ilişkiyi ifade eder. Solunumsal eşitliklerin ölçümü solunum verimliliğini değerlendirmek için kullanılır.

Oksijenin solunumsal eşitliği (VE/VO<sub>2</sub>), egzersizin aerobik metabolik gereksinimlerine verilen solunum yanıtını temsil eder. Genellikle en düşük nokta veya solunumsal anaerobik eşik noktası dikkate alınır. Daha spesifik olarak, bir çocuğun 1 litre oksijeni alması, taşınması ve kullanması için soluması gereken ortalama litre hava miktarını temsil eder. Yüksek düzeyde VE/VO<sub>2</sub>, daha az verimli ventilasyonun bir göstergesidir. Ventilasyon verimliliğinin düşük olması fizyolojik olmayan hiperventilasyon, artmış VD/VT veya düzensiz solunumdan kaynaklanabilir (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020). Çocukluk döneminde ventilasyon verimliliğinin yaşla birlikte arttığı bulunmuştur (Cooper & ark., 1987; Giardini & ark., 2011). Bu nedenle çocuklar, ergenlere ve yetişkinlere göre daha yüksek VE/VO<sub>2</sub> değerleri ölçülür (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020).

Egzersiz testi sırasındaki karbondioksit için solunumsal eşitliği (VE/VCO<sub>2</sub>), ventilasyon verimliliğini tahmin etmek için kullanılan non-invaziv

bir yöntemdir.  $VE/VCO_2$ , akciğerdeki ventilasyon ve perfüzyonun eşleşmesini yansıtır. Ventilasyon verimliliği, egzersiz testi sırasındaki en düşük  $VE/VCO_2$  değeri olarak veya anaerobik eşik (AT) gibi belirli bir egzersiz şiddetinde incelenebilir ya da egzersiz testi boyunca ventilasyon ve  $VCO_2$  arasındaki ilişkinin eğimi olarak ifade edilebilir (Sun & ark., 2002). Bu parametrenin yüksek değerleri ventilasyonun verimsiz olduğunu gösterir, birçok akciğer ve kalp hastalığının fonksiyonel profilinde bulunur (Marinov, Kostianev & Turnovska, 2002; Lintu & ark., 2015).

İstirahat veya çok hafif egzersiz sırasında  $VE$  ve  $VCO_2$  arasındaki ilişki, ağırlıklı olarak psikojenik faktörlerin yanında  $PaCO_2$  ve ölü boşluk-tidal hacim oranındaki ( $Vd/Vt$ ) farklılıklar nedeniyle büyük ölçüde değişebilir (Sun & ark., 2002).  $VE/VCO_2$  oranı,  $VO_{2max}$ 'a ulaşamayan çocuklar için alternatif bir belirteç olarak kullanılır. KPET sırasında metabolik asidozun hiperventilasyonla kompanzasyonunun başladığı noktaya kadar olan  $VE/VCO_2$  eğimi ventilasyon verimliliğini temsil eder (Sun & ark., 2002). Bir başka ifade ile solunumsal kompanzasyon noktasına kadar olan (izokapnik tamponlama fazı süresinde)  $VE/VCO_2$  eğimi, ventilasyon verimliliğini yorumlamak için kullanılır (Van Brussel & ark., 2019). Ventilasyonun solunumsal kompanzasyonuna kadar  $VE$  ile  $VCO_2$  arasındaki ilişki nispeten stabildir ve egzersiz şiddeti ile orantılı olarak artış gösterir (Sun & ark., 2002). Bu noktadan sonra  $VE$ ,  $CO_2$ 'den daha fazla artış gösterir. Egzersiz sırasında  $VE$ , esas olarak  $CO_2$ 'nin arteriyel basıncını dinlenme seviyelerine yakın tutmak için düzenlenir.  $VE$  üretilen  $CO_2$ 'teki artışa cevap olarak artış gösterir, bu da solunumsal kompanzasyon noktasına kadar  $VE$  ve  $VCO_2$  arasında bir doğrusal ilişki ile sonuçlanır (Van Brussel & ark., 2019). Ancak solunumsal kompanzasyon noktasından sonra asidoza bağlı  $CO_2$  artışına cevap olarak gelişen hiperventilasyon  $VE/VCO_2$  değerinin yükselmesine veya eğimin dikleşmesine neden olur (Van Brussel & ark., 2019). Solunumsal kompanzasyon noktasında yüksek  $VE/VCO_2$  genellikle, ventilasyon-perfüzyon uyumsuzluğu veya şant akımı nedeniyle  $VD/VT$ 'nin yüksek olmasından kaynaklanır. Bunun yanı sıra akciğer gaz değişiminin etkinliğini azaltır ve  $CO_2$ 'nin arteriyel basıncını korumak için  $VE$ 'de artış olmasını gerektirir (Van Brussel & ark., 2019).

Küçük çocuklarda şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında dakika ventilasyonu ve  $CO_2$  üretimi arasındaki ilişkinin ( $\Delta VE/\Delta VCO_2$ ) eğiminin gençlere göre daha büyük olduğu ve egzersiz sırasında soluk sonu  $CO_2$  basıncının ( $PETCO_2$ ) önemli ölçüde daha düşük olduğu gösterilmiştir (Cooper &



ark., 1987). Egzersiz sırasında belirli bir CO<sub>2</sub> miktarını ortadan kaldırmak için gereken alveoler ventilasyon, küçük çocuklarda daha büyük çocuklara göre daha yüksektir. İstirahatte herhangi bir farklılık gözlenmemesine rağmen, egzersiz sırasında gözlenen bu fark küçük çocuklarda PaCO<sub>2</sub>'nin daha düşük seviyede düzenlendiğini göstermektedir (Nagano & ark., 1998). VE/VCO<sub>2</sub> eğimi çocuklarda yetişkinlere göre daha yüksektir (Weston & ark., 2021). Bunun genellikle çocuklarda daha düşük ventilasyon verimliliğini yansıttığı düşünülür. Aynı zamanda CO<sub>2</sub> depolama kapasitesi veya PaCO<sub>2</sub> ayar noktasında yaşa bağlı farklılıkların bir göstergesi olduğu yorumu da yapılmaktadır (Weston & ark., 2021) Matematiksel olarak ventilasyon ve CO<sub>2</sub> çıkışı arasındaki ilişki, arteriyel CO<sub>2</sub> basıncı ve fizyolojik ölü boşluk-tidal hacim (VD/VT) oranı ile belirlenir (Sun & ark., 2002). VD/VT oranı, egzersiz sırasında ventilasyon ile perfüzyon arasındaki uyumsuzluğun derecesini tahmin etmek için değerlidir. Dinlenme durumunda fizyolojik ölü boşluk ventilasyonu normalde tidal hacmin yaklaşık üçte biri kadardır. Diğer bir ifade ile istirahatte VD/VT yaklaşık 0,34'tür. Bu kademeli artan (progresif ilerleyici) egzersiz sırasında yaklaşık beşte birine düşer, yani yaklaşık olarak VD/VT <0,24'tür (Van Brussel & ark., 2019).

Egzersize solunum cevapları genellikle VE ve VCO<sub>2</sub> kinetikleri incelenerek değerlendirilmektedir (Cooper & ark., 1987). Genel olarak kararlı durumda hem alveolar ventilasyon hem de dakika ventilasyonun VCO<sub>2</sub>'nin lineer bir fonksiyonu olarak arttığı ve sonuç olarak PaCO<sub>2</sub>'nin dinlenme değerinde veya buna çok yakın seviyede düzenlendiği düşünülmektedir (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020).

VE ve VCO<sub>2</sub> arasındaki ilişki, alveolar gaz denkleminin bir modifikasyonu ile verilir:

$$VE = 863 \times VCO_2 / PaCO_2 \times (1 - VD/VT)$$

burada VE ventilasyon, VCO<sub>2</sub> karbondioksit üretimi, PaCO<sub>2</sub> arteriyel karbondioksit parsiyel basıncı, VD ölü boşluk ventilasyonu ve VT tidal volüm ve VD/VT ölü boşluk havasının tidal volüme oranıdır. Denklem göre VE ve VCO<sub>2</sub> arasındaki ilişkiyi etkileyen faktörler PaCO<sub>2</sub> ve VD/VT'dir. Denklem, PaCO<sub>2</sub> düşük olduğunda ya da VD yüksek veya VT düşük olduğunda egzersize solunum yanıtının yani ventilasyonun artacağı anlamına gelir (Takken, Sonbahar Ulu & Hulzebos, 2020). Farklı yorumlanırsa, ventilasyonun artması PaCO<sub>2</sub>'nin azalması veya VD/VT'nin artması ile sonuçlanır. Çocuklarda gözlemlenen düşük ventilasyon verimliliği, progresif egzersiz sırasında yetişkin-



lere kıyasla VD/VT'deki daha düşük düşüşle desteklenmiştir (Prado & ark., 2010). Bu da anatomik ölü boşlukta daha yüksek ventilasyon olduğunu düşündürmektedir (Prado & ark., 2010).

### **Tidal Sonu Karbondioksit Gaz Basıncı (PETCO<sub>2</sub>)**

Yüksek şiddetli egzersizlerde ventilasyon artışının amacı, laktik asit konsantrasyonundaki artışa rağmen kan pH'ını normal düzeyde korumaktır. Dolayısıyla ventilasyon artışı arteriyel ve PETCO<sub>2</sub> bir azalma ile sonuçlanır (Giardini & ark., 2011). PETCO<sub>2</sub> değişkeni için, çocuklar progresif egzersiz sırasında yetişkinlere göre daha düşük değerler gösterir (Weston & ark., 2021). Çocuklar yetişkinlere kıyasla PETCO<sub>2</sub>'de daha küçük artış gösterirken, arteriyel karbondioksit basıncındaki (PaCO<sub>2</sub>) artışlara abartılı bir solunum cevabı verirler (Gratas-Delamarche & ark., 1993). Ayrıca çocuklar yetişkinlere kıyasla egzersiz sırasında belirli bir CO<sub>2</sub> üretimi için daha yüksek pulmoner ventilasyon yaparlar (Gratas-Delamarche & ark., 1993; Ohuchi & ark., 1999; Prado & ark., 2010). Egzersizin belirli aşamasında PETCO<sub>2</sub>'deki değişiklik için ventilasyon yanıtı, yetişkinlere kıyasla çocuklarda daha fazladır (Ellis & ark., 2004).

Yapılan çalışmalarda egzersiz sırasında yetişkinlere kıyasla çocuklarda daha küçük PETCO<sub>2</sub> artışının nedenlerinin çok faktörlü olabileceği ifade edilmektedir. Muhtemel nedenler arasında çocuklarda daha küçük tidal volüm ve vücut boyutunun yanı sıra daha küçük CO<sub>2</sub> depolama kapasitesi ve CO<sub>2</sub> üretimi olabileceği belirtilmektedir (Ohuchi & ark., 1999; Weston & ark., 2021). Cooper ve arkadaşları (1987) egzersizde solunum kontrolü sürecinin çocukluk döneminde bir dereceye kadar olgunlaştığını, PCO<sub>2</sub>'nin küçük çocuklarda daha düşük seviyelerde düzenlenebildiğini ve depolanan nispi CO<sub>2</sub> miktarlarında büyüme ile ilgili farklılıklar olabileceğini işaret etmiştir. Küçük çocuklarda gençlere kıyasla CO<sub>2</sub>'in daha az miktarda depolandığı öne sürülmüştür. CO<sub>2</sub>'in hızla depolanması için kan çok önemlidir ve gençlerin küçük çocuklara göre daha yüksek hemoglobin seviyelerine sahip olabileceği yorumu yapılmıştır (Cooper & ark., 1987). Küçük çocuklarda kas dokusunun CO<sub>2</sub> depolama kapasitelerinin ergenlere göre farklı olup olmadığı bilinmemektedir. Göreceli olarak daha küçük CO<sub>2</sub> depolarının varlığında, egzersiz yapan kas hücrelerinde üretilen CO<sub>2</sub>, doku depolarını venöz CO<sub>2</sub> basınç değerine daha hızlı doyurabileceği ve dolaşıma daha hızlı ulaştırabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle küçük çocuklarda daha hızlı VE kinetikleri görüldüğü yorumu yapılmıştır (Cooper & ark., 1987). Öte yandan çocukların egzersiz sırasında CO<sub>2</sub>

üretimine karşı daha fazla ventilasyon duyarlılığı olduğu gösterilmiştir (Gratas-Delamarche & ark., 1993). Çocukların daha düşük karbondioksit ayar noktası olduğu, bununun da belirli bir metabolik talep için daha yüksek solunum hızına yol açtığına dair kanıtlar vardır (Springer, Cooper & Wasserman, 1988; Prado & ark., 2010). Springer ve arkadaşları (1988) sağlıklı küçük çocuklarda egzersiz sırasında periferal kemoreseptörlerin solunum kontrolüne katkısının erişkinlere göre daha fazla olduğunu bildirmiştir. Gratas-Delamarche ve arkadaşları (1993) egzersiz sırasında çocukların solunum merkezlerinin yetişkinlere göre CO<sub>2</sub>'e daha fazla duyarlı olduğunu göstermişlerdir. CO<sub>2</sub>'e verilen bu yüksek yanıt, kısmen çocukların egzersiz sırasında daha fazla ventilasyon yapmasını açıklayabilir (Gratas-Delamarche & ark., 1993). Ayrıca çocuklarda egzersiz sırasında yetişkinlere kıyasla daha yüksek solunum frekansının daha düşük PETCO<sub>2</sub> nedenleri arasında olabileceği düşünülmektedir (Ellis & ark., 2004). Çocuklarda CO<sub>2</sub> üretimine karşı daha düşük duyarlılık eşiği olduğu için, solunumsal eşik ve solunumsal kompanzasyon noktasındaki PETCO<sub>2</sub> değerleri yetişkinlere göre daha düşüktü (Ellis & ark., 2004). PETCO<sub>2</sub> düzeyinin, istirahatte ve düşük şiddetli egzersizde nefes alma dürtüsü ile ilişkili olduğu, yüksek şiddetli egzersizde ise solunumun nörojenik kontrolü ile ilişkili olarak düzenlendiği gösterilmiştir (Ondrak & McMurray, 2006).

### **Solunum Değişim Oranı (RER)**

Şiddeti kademeli olarak artan egzersiz sırasında VCO<sub>2</sub> ve VO<sub>2</sub> arasındaki oran, laktik asitin H<sup>+</sup>ni bikarbonat iyonu ile tamponlandığı için artar. Solunumsal eşiğin üzerindeki şiddetlerde RER değeri 1'in üzerine çıkar ve egzersizin tükenme noktasında maksimal değerlerine ulaşır (RER<sub>max</sub> ≥1.00) (Lintu & ark., 2015; Van Brussel & ark., 2019). RER değerinin 1 ve daha yüksek olması glikolitik enerji sisteminin baskın olarak kullanıldığını işaret eder. Dolayısıyla egzersiz testi sırasında ölçülen VO<sub>2max</sub> değerinde RER<1.00 olması, kişinin test sırasında submaksimal efor sergilediğini gösterir (Lintu & ark., 2015; Van Brussel & ark., 2019). Maksimal RER değeri, maksimal egzersiz testinde kişinin yüksek efor sergilediğinin bir göstergesi olarak kullanılır (Howley, Bassett & Welch, 1995). Ancak küçük çocuklarda anaerobik metabolizma henüz gelişmemiş olabilir ve glikolitik aktivite yetişkinlere göre daha düşüktür (Boisseau & Delamarche, 2000). Bu da egzersiz testi sırasında RER değerlerini etkileyebilir. Sağlıklı çocuklarda ve ergenlerde, maksimal RER değeri yaklaşık olarak 1,14 ila 1,19 arasında değişir. Egzersiz sonlandırıldıktan sonra RER değeri

artmaya devam ettiği için >1,50 değerlerini aşabilir. Çocuklarda ve ergenlerde RER değerleri toparlanmanın 2 ila 3 dakikası içerisinde düşmeye başlar (Van Brussel & ark., 2019).

## KAYNAKÇA

- Armstrong, N., Kirby, B. J., McManus, A. M., et al. (1995). Aerobic fitness of prepubescent children. *Annals of human biology*, 22(5), 427-441.
- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (1994). Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exercise and sport sciences reviews*, 22, 435-476.
- Armstrong, N., Welsman, J. R., & Kirby, B. J. (1998). Peak oxygen uptake and maturation in 12-yr olds. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(1), 165-169.
- Boisseau, N., & Delamarche, P. (2000). Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Medicine*, 30(6), 405-422.
- Cooper, D. M., Kaplan, M. R., Baumgarten, L., et al. (1987). Coupling of ventilation and CO<sub>2</sub> production during exercise in children. *Pediatric research*, 21(6), 568-572.
- Ellis, L. A., Ainslie, P. N., Armstrong, V. A., et al. (2017). Anterior cerebral blood velocity and end-tidal CO<sub>2</sub> responses to exercise differ in children and adults. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 312(6), H1195-H1202.
- Giardini, A., Odendaal, D., Khambadkone, S., et al. (2011). Physiologic decrease of ventilatory response to exercise in the second decade of life in healthy children. *American heart journal*, 161(6), 1214-1219.
- Gratas-Delamarche, A., Mercier, J., Ramonatxo, M., et al. (1993). Ventilatory response of prepubertal boys and adults to carbon dioxide at rest and during exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 66(1), 25-30.
- Howley, E. T., Bassett, D. R., & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and science in sports and exercise*, 27, 1292-1292.
- Lanteri, C. J., & Sly, P. D. (1993). Changes in respiratory mechanics with age. *Journal of Applied Physiology*, 74(1), 369-378.
- Lintu, N., Viitasalo, A., Tompuri, T., et al. (2015). Cardiorespiratory fitness, respiratory function and hemodynamic responses to maximal cycle ergometer exercise test in girls and boys aged 9–11 years: the PANIC Study. *European journal of applied physiology*, 115(2), 235-243.
- Marinov, B., Kostianev, S., & Turnovska, T. (2002). Ventilatory efficiency and rate of perceived exertion in obese and non-obese children performing standardized exercise. *Clinical physiology and functional imaging*, 22(4), 254-260.
- Mercier, J., Varray, A., Ramonatxo, M., et al. (1991). Influence of anthropometric characteristics on changes in maximal exercise ventilation and breathing pattern during growth in boys. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 63(3), 235-241.
- Meyer, T., Faude, O., Scharhag, J., et al. (2004). Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? *British journal of sports medicine*, 38, 622-625.
- McMurray, R. G., Bagget, C., Pennell, M., et al. (2003). Gender differences in ventilatory responses of youth are related to exercise intensity. *Port J. Sport Sci*, 3, 101-102.
- Nagano, Y., Baba, R., Kuraishi, K., et al. (1998). Ventilatory control during exercise in normal children. *Pediatric research*, 43(5), 704-707.
- Ondrak, K. S., & McMurray, R. G. (2006). Exercise-induced breathing patterns of youth are related to age and intensity. *European journal of applied physiology*, 98(1), 88-96.

- Ohuchi, H., Kato, Y., Tasato, H., et al. (1999). Ventilatory response and arterial blood gases during exercise in children. *Pediatric research*, 45(3), 389-396.
- Paridon, S. M., Alpert, B. S., Boas, S. R., Cabrera, M. E., Calderera, L. L., Daniels, S. R., Kimball, T. R., Knilans, T. K., Nixon, P. A., Rhodes, J., & Yetman, A. T. (2006). Clinical stress testing in the pediatric age group: a statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. *Circulation*, 113(15), 1905-1920.
- Prado, D. M. L. D., Braga, A. M. F. W., Rondon, M. U. P., et al. (2010). Cardiorespiratory responses during progressive maximal exercise test in healthy children. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 94, 493-499.
- Rowland, T. W., & Cunningham, L. N. (1997). Development of ventilatory responses to exercise in normal white children: a longitudinal study. *Chest*, 111(2), 327-332.
- Sun, X. G., Hansen, J. E., Garatachea, N., et al. (2002). Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 166(11), 1443-1448.
- Springer, C., Cooper, D. M., & Wasserman, K. (1988). Evidence that maturation of the peripheral chemoreceptors is not complete in childhood. *Respiration physiology*, 74(1), 55-64.
- Takken, T., Sonbahar Ulu, H., & Hulzebos, E. H. (2020). Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing in children with respiratory diseases. *Expert Review of Respiratory Medicine*, 14(7), 691-701.
- Van Brussel, M., Bongers, B. C., Hulzebos, E. H., et al. (2019). A systematic approach to interpreting the cardiopulmonary exercise test in pediatrics. *Pediatric exercise science*, 31(2), 194-203.
- Vinet, A., Nottin, S., Lecoq, A. M., et al. (2002). Cardiovascular responses to progressive cycle exercise in healthy children and adults. *International journal of sports medicine*, 23(04), 242-246.
- Wasserman, K., (1984). The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *American review of respiratory disease*, 129, 35-40.
- Weston, M. E., Barker, A. R., Tomlinson, O. W., et al. (2021). Differences in cerebrovascular regulation and ventilatory responses during ramp incremental cycling in children, adolescents, and adults. *Journal of applied physiology*, 131(4), 1200-1210.