أولا : الجهاز القلبي الوعائي

التغيرات في نظام القلب والأوعية الدموية في مرحلة الطفولة:

تكون كتلة القلب كنسبة من إجمالي كتلة الجسم مرتفعة عند الأطفال ولكنها تنخفض مع تقدم مرحلة الطفولة. يتمتع قلب المولود الجديد بهيمنة البطين الأيمن مع سماكة يمينية في جدار العضلات، ولكن مع انخفاض المقاومة الرئوية بسبب الدورة الدموية للجنين، فإنه يتضاءل. في الأسبوع الرابع يصبح وزن البطين الأيمن مساويًا لوزن البطين الأيسر. يتضاعف وزن القلب في السنة الأولى من العمر وينمو ستة أضعاف بحلول سن التاسعة (ماكانس وهيذر 2006). وهناك انخفاض بنسبة 20 في المائة في معدل النمو من ثلاث إلى خمس عشرة سنة.

ترتبط كتلة البطين الأيسر ارتباطًا وثيقًا بمساحة سطح الجسم. يتطلب قانون لا بليس أن ارتفاع ضغط الدم مع تقدم العمر يقابله نسبة أكبر نسبيًا من سمك الجدار إلى أبعاد الغرفة للحفاظ على ضغط الجدار الثابت. خلال مرحلة الطفولة، يزداد حجم ألياف عضلة القلب سبع مرات، مع زيادة عدد الأوعية الدموية القلبية لتزويدها؛ ومع ذلك، فإن الأطفال الصغار لديهم انقباض عضلة القلب أكبر من الأطفال الأكبر سنا. ترتفع قدرة القلب مع تقدم العمر، لكن مخرجات القلب لدى الأطفال والمراهقين' أقل من تلك الخاصة بالبالغين عند أي مستوى معين من امتصاص الأكسجين. يرتبط النتاج القلبي بمعدل ضربات القلب وحجم السكتة الدماغية.

تنبض قلوب الأطفال الأصغر حجمًا (حجم السكتة الدماغية) بشكل أسرع (المعدل) لتزويد أنسجة الجسم بالأكسجين. يرتبط حجم السكتة الدماغية أثناء الراحة بوزن الجسم، ولكن هذا يتأثر بتكوين الجسم، على سبيل المثال، كتلة الجسم النحيل. الأطفال من مختلف الأحجام لديهم نطاقات طبيعية مختلفة من النتاج القلبي، وبالتالي غالبًا ما يستخدم مؤشر القلب (CI) لهم.

CI = CO مقسومًا على سطح الجسم بالمتر المربع (المعدل الطبيعي هو 3.5–4.5 لتر/دقيقة/م2 من سطح الجسم)

ومع ذلك، فإن أي زيادة في المعدل الطبيعي لا تؤدي إلى تحسين وظائف القلب بشكل عام. مع أكثر من 200–220 نبضة في الدقيقة عند الرضع و160–180 نبضة في الدقيقة عند الأطفال، يمكن للمرء أن يرى انخفاض وقت امتلاء البطين الانبساطي ووقت نضح الشريان التاجي، مما يؤدي إلى انخفاض في حجم السكتة الدماغية والنتاج القلبي. في الواقع، قد يحدث بطء القلب المؤقت مما يؤدي إلى انخفاض في تدفق الدم الجهازي؛ ويصبح الطفل مرقطًا وشاحب اللون؛ ويحدث تضيق الأوعية الدموية الطرفية؛ وتصبح الأطراف الطرفية باردة؛

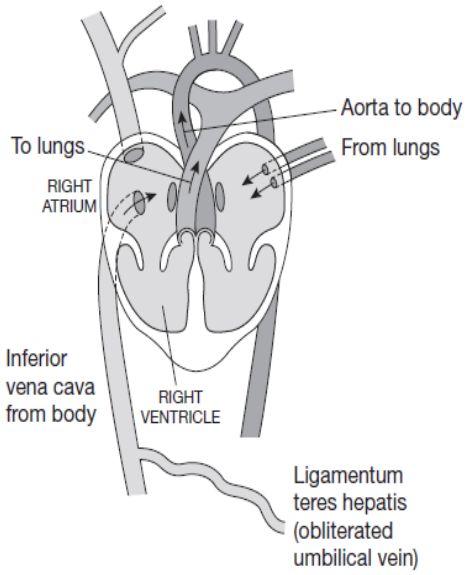
ويتأخر إعادة ملء الشعيرات الدموية؛ ويلاحظ انخفاض إنتاج البول؛ ويصبح الحماض الأيضي واضحًا. ومن المثير للاهتمام أن ضغط الدم الانقباضي الشرياني قد يظل طبيعيًا نتيجة لانقباض الشرايين.

العمر	نبض	Co2 لتر/دقيقة	SV
حديث الولادة	145	1.0–0.8	5
6 أشهر	120	1.3–1.0	10
1 سنة	115	1.5–1.3	13
5 سنوات	95	3.0–2.5	31
10 سنوات	75	4.0–3.8	50
15 سنة	70	6.0	85

جدول النتاج القلبي الطبيعي لدى الأطفال (CO)حسب هالازينسكي 1992.

قد يتم التقليل من تقدير النتاج القلبي للطفل السمين، ومع ذلك، لا يمكن تعريف السمنة لدى الأطفال بشكل جيد، وذلك بسبب إجمالي الماء في الجسم وانخفاض كثافة العظام، نسبة الدهون في الجسم إلى الدهون في الجلد أعلى على أي حال عند الأطفال حيث ينخفض معدل ضربات القلب في مرحلة الطفولة؛ ومن سن تسع سنوات تظهر أيضًا تأثيرات الجنس (المعدلات الأساسية هي تلك التي يتم قياسها بعد اثنتي عشرة ساعة من تناول الوجبة وبعد أن يستريح الشخص لمدة ثلاثين دقيقة) كما أن استهلاك الطعام والقلق والتغيرات الهرمونية العصبية الاستباقية، مثل الخوف، تؤدي أيضًا إلى تغيير معدل ضربات القلب. ومن ثم، فمن الصعب حساب القياسات الأساسية للأطفال عندما يكونون مستيقظين.

تعكس قياسات معدل ضربات القلب خلال مرحلة الطفولة انخفاض معدل الأيض الأساسي (يرتبط معدل الأيض الأساسي بالكتلة ومساحة السطح – كلما كان الطفل أصغر كلما زاد معدل الأيض الأساسي لأن لديه مساحة سطحية كبيرة نسبيًا مقارنة بكتلة الجسم)، وتنخفض هذه النسبة لدى الإناث بنسبة 23 في المائة من سن السادسة إلى السادسة عشرة،كما ينخفض معدل ضربات القلب أثناء الراحة خلال هذا الوقت بنسبة 20 في المائة. يظهر الطفل النامي انخفاضًا في معدل الأيض الأساسي وارتفاعًا في حجم السكتة القلبية ومع نمو حجم قلبهم ونضج الشبكات العصبية المؤدية إلى عضلة القلب، يزداد حجم الدم الذي يمكنهم طرده لكل نبضة قلب؛ حيث يتم تشجيع النشاط البدني بانتظام أين يجب أن ينمو حجم القلب إلى الحد الأقصى الصحي.



شكل يوضح دوران الدم بعد الولادة

يقدم واليس وآخرون (2005) مناقشة حول طرق قياس معدل النبض باعتباره له تأثير محفز على الأطفال ويقترحون أنه يجب استخدام النطاقات المنشورة لمعدلات النبض الطبيعية بحذر وإعطاء حالة الطفل في وقت القياس الاعتبار الواجب. على سبيل المثال، إذا قام شخص ما بتطبيق مسبار الإصبع لقياس معدل النبض، فقد يخشى الطفل من جهاز المراقبة وقد تؤدي استجابته الفسيولوجية إلى تشويش القراءة الحقيقية. ومن المثير للاهتمام أن واليس وماكونوتشي (2006) وجدا اختلافًا طفيفًا في نطاق النبض لدى أطفال جنوب إفريقيا الأصحاء الذين تتراوح أعمارهم بين خمسة إلى ستة عشر عامًا والذين عانوا من الحرمان الاجتماعي؛ ولم يكن للظروف الأسرية للأطفال أي تأثير واضح على تطور نظام القلب والأوعية الدموية لديهم.

معدل العمر	معدل النبض
أقل من سنة	160–110

2–5 سنة	95–140
5–12 سنة	80–120
أكثر من 12 سنة	60–100

معدلات ضربات القلب في مرحلة الطفولة حسب ليساور وكلايدن 2004

تاثير ممارسة الرياضة على وظيفة القلب والأوعية الدموية:

يرتفع معدل النبض مع زيادة التمارين الرياضية لأن حجم القلب (الحجم) سيبقى كما هو ولكن الدم سيحتاج إلى التحرك بشكل أسرع لنقل الأكسجين إلى الخلايا النشطة في العضلات. كلما كان الطفل أصغر سناً، كلما كان قلبه أصغر، وبالتالي يظهر معدل نبض أعلى في أي مستوى معين من النشاط. ترتفع معدلات النبض عند بذل مجهود بدني وفي حالات أخرى يزداد فيها معدل الأيض، مثل الحمى والقلق. إن معدل ضربات القلب الأقصى عند الأطفال أعلى من البالغين، وقد يرتفع إلى معدل حوالي 200 نبضة في الدقيقة اعتمادًا على أعمارهم وحجمهم. جميع الفتيات لديهن معدلات ضربات قلب قصوى مماثلة في نفس العمر ولكن معدلات أعلى بكثير دون الحد الأقصى من الأولاد في نفس العمر. تظهر هذه الاختلافات في عمر ست سنوات تقريبًا.

ترتبط استجابة الأطفال لممارسة التمارين الرياضية بعمرهم ونوع التمارين التي يمارسونها والتأثير التدريجي للنشاط البدني في حياتهم اليومية. يقدم أرمسترونج (2006) معلومات شاملة عن الشباب الذين لديهم توزيع محيطي أكثر ملاءمة للدم أثناء ممارسة الرياضة، مما يسهل نقل الأكسجين إلى العضلات التي تمارس الرياضة. يتمتع الأطفال بكثافة ميتوكوندريا وتوافر إنزيمات مؤكسدة أعلى قليلاً من البالغين، وبالتالي لديهم قدرة متزايدة على تحويل السكر إلى طاقة في خلية العضلات العاملة.

قد يكون النتاج القلبي لدى الأطفال أقل بكثير عند نفس امتصاص الأكسجين مقارنة بالبالغين، لكن الطفل يعتمد على قدرة أعلى على استخلاص الأكسجين المحيطي في العضلات نفسها. عند ممارسة التمارين الرياضية الخفيفة، يمكن لزيادة استخلاص الأكسجين من الدم أن يعوض انخفاض النتاج القلبي. وفي المستويات الأكثر صعوبة، تكون هذه الميزة محدودة بسبب انخفاض محتوى الهيموجلوبين في الدم لنقل الأكسجين إلى الأنسجة. إنهم يتعافون من التمارين الرياضية بشكل أسرع من البالغين لأن جهد عضلاتهم الأصغر يكون أقل في أي نشاط معين.

على الرغم من عدم وجود فروق في مرحلة الطفولة المبكرة، إلا أن الأولاد يظهرون تركيزًا متزايدًا للهيموجلوبين مع تقدمهم في السن عندما يكون لهرمون التستوستيرون تأثير متزايد على طفرة النمو وتطور الخصائص الجنسية الثانوية مثل زيادة كتلة العضلات في أواخر سن المراهقة. من ناحية أخرى، تظهر الفتيات زيادة أقل في مستويات الهيموجلوبين مع بدء الحيض؛ وبالتالي يظهر الأولاد المراهقون تفوقًا في أحداث التحمل لأن دمائهم قادرة على حمل الأكسجين بكفاءة أكبر إلى العضلات العاملة الأكبر.

يرتفع ضغط الدم أثناء الراحة طوال مرحلة الطفولة عندما يصبح القلب أكبر وأقوى حيث يُظهر الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين ثماني وعشر سنوات أيضًا إيقاعًا فائق السرعة، وأن تطور ونضج نظام القلب والأوعية الدموية والآليات العصبية الأساسية قد يكون شرطًا أساسيًا لتحقيق إيقاع الساعة البيولوجية لضغط الدم لدى البالغين، والذي قد يظهر فترة أربع وعشرين ساعة (ماريب وهوهن 2007)، ويمكن أن يكون قياس ضغط دم الطفل علمًا غير دقيق لأنه يشعر بالقلق عند الضغط على ذراعه أو ساقه، كما أن المثانة الصحيحة أمر حيوي أيضًا حيث يمكن رفع القراءات الانقباضية بما يصل إلى 20 ملم زئبق وتشخيص ارتفاع ضغط الدم بشكل خاطئ (سمرز 2007).

العمر	ذكر	أنثى
1 سنة	39/89–34/80	42/90–38/83
5 سنوات	55/98–50/90	56/96–52/89
10 سنوات	63/106–58/97	62/105–59/98
15 سنة	66/117–61/109	67/113–64/107

تغيرات ضغط الدم خلال مرحلة الطفولة حسب موقع الأكاديمية الأمريكية لطب الأطفال

إن عوامل المقاومة الطرفية مثل إضعاف الأوعية الدموية الودية وتغيرات لزوجة الدم واستجابة العضلات المحلية للمركبات الأيضية لم يتم البحث فيها بشكل جيد في الوقت الحاضر. ومع ذلك، فقد وجد أن الأوعية الدموية الشريانية لدى الأطفال أقل من سنة واحدة تحتوي على خطوط دهنية بغض النظر عن الجنس أو العرق أو الجغرافيا أو العوامل الوراثية، وتظهر هذه الخطوط في الشرايين التاجية لدى الأطفال بعمر عشر سنوات. وقد أظهرت الدراسات أن 26 في المائة من الأطفال في الفئة العمرية من سنتين إلى اثنتي عشرة سنة قد رفعوا نسبة الكوليسترول في الدم (أعلى من 5.2 مليمول/لتر المعترف به باعتباره الحد الأقصى المرغوب فيه). بحلول سن المراهقة المبكرة، وجد جاكسون وآخرون (2006) أن ضغط النبض يصل إلى ذروته قبل الانخفاض عند دخولهم مرحلة الشباب – وهي ظاهرة لم يتمكنوا من تفسيرها.

ضغط النبض هو الفرق بين قراءات الضغط الانقباضي والانبساطي، والفرق الأكبر يشير إلى الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية مثل ارتفاع ضغط الدم وتصلب الشرايين. يقدم هيبيسلي كوكس وآخرون (2007) تنبؤات بالمخاطر لأمراض القلب والأوعية الدموية (CVD) والتي تشمل الحرمان الاجتماعي، والتاريخ العائلي لأمراض القلب والأوعية الدموية، وارتفاع مؤشر كتلة الجسم (نسبة الطول إلى الوزن – انظر الجدول 4.4 حيث يرتبط نطاق ضغط الدم (B/P) بالطول)، وارتفاع ضغط الدم خارج النطاق المقبول والتدخين.

قد يتأثر ما إذا كانت آفات تصلب الشرايين قابلة للعكس أو أنها مقدمة للبقع الليفية الأكثر ديمومة بالسلوك اللاحق ‘المحفوف بالمخاطر’ كما قدمه هيبيسلي كوكس وآخرون؛ فقد يكون لها تأثير مبكر في مرحلة الطفولة على المقاومة الطرفية وبالتالي عامل خطر طويل الأمد لارتفاع ضغط الدم. تبين أن التحكم في الوزن وممارسة التمارين الرياضية بانتظام واتباع نظام غذائي منخفض الدهون الحيوانية يقلل من نسبة الكوليسترول في الدم في جميع الفئات العمرية ويقلل من خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية لدى السكان.

ثانيا: الجهاز التنفسي

عملية التنفس في مرحلة الطفولة:

عندما يبذل طفل صغير جهدًا تنفسيًا، يكون جدار الصدر أكثر مرونة (تمددًا) من الشخص البالغ، لأن العضلات الوربية الخارجية فقط، التي ترفع الأضلاع للإلهام، هي التي تعمل على تثبيت جدار الصدر حيث يكون الحجاب الحاجز أفقيًا أكثر ويكون هناك تراجع في الضلع السفلي عندما يستلقي الطفل مستلقيًا فكلما زاد انكماش الضلع، كلما احتاج الحجاب الحاجز إلى الانقباض لتوليد حجم المد والجزر؛ وهذه طريقة غير فعالة للغاية للتنفس وسوف تتعب العضلات بسرعة عندما يتم زيادة التهوية لفترات طويلة. سيظهر على الأطفال الصغار جدار صدر مشوه إلى الداخل، واتساع الأنف، والتنفس الشخير، والفم المفتوح في

الشهيق، والشفاه المزمومة في الزفير عندما يواجهون صعوبات في التنفس؛ يستخدمون الكثير من الطاقة ويشعرون بالتعب بسرعة. تنتقل الحرارة والماء من الجهاز التنفسي إلى الهواء الزفير؛ يفقد الأطفال كمية أكبر نسبيًا من حرارة الجسم والماء من أنسجة الجسم أثناء التنفس، لذلك يكونون أكثر عرضة للإصابة بسدادات مخاطية لزجة عندما يصابون بالتهابات الجهاز التنفسي.

يزداد طول وقطر الخطوط الهوائية بعد الولادة. حتى سن ثلاث سنوات يزداد عدد الحويصلات الهوائية غير الناضجة، وبعد هذا العمر يزداد الحجم فقط. تستمر الأوعية الدموية في إعادة تشكيلها ويزداد عددها مع تشكل الحويصلات الهوائية الجديدة. وتزداد هذه 'الوحدات الطرفية' في الحجم والعدد حتى يبلغ الطفل سن الثامنة. كما تستمر مسارات الحويصلات الهوائية والقصبات الهوائية للتهوية الجانبية (المسام التي تسمح بامتصاص الغاز المحبوس في مجاري الهواء المسدودة) في التطور حتى هذا العمر.

توقف التنفس Apnoea:

وهي فترة غياب التنفس تستمر عشرين ثانية أو أكثر، أو فترة أقصر إذا أصبح لون الطفل أزرق أو شاحبًا أو انخفض معدل ضربات القلب. يعاني العديد من الأطفال من فترات من التنفس السريع تتناوب مع فترات من التنفس البطيء، أو قد لا يتنفسون لفترات تصل إلى خمسة عشر ثانية. وهذا أمر طبيعي إذا لم يتغير اللون ومعدل ضربات القلب بشكل كبير وبدأ الرضيع في التنفس تلقائيًا. انقطاع التنفس الحقيقي شائع فقط عند الأطفال الخدج الذين تقل أعمارهم عن اثنين وثلاثين أسبوعًا. ويمكن تقليله في وحدة حديثي الولادة عن طريق الحد الأدنى من التعامل، والحفاظ على درجة حرارة الرضيع ثابتة ووضع الرضيع في وضعية الانبطاح. من الناحية الطبية، يمكن علاجها بالكافيين الذي يحفز النخاع والجسر بسرعة، وهما الجهازان العصبيان المركزيان المسؤولان عن التنفس.

يحدث انقطاع التنفس بسبب تشوهات في الجهاز التنفسي والجهاز العصبي المركزي والتمثيل الغذائي والانسدادي. الأسباب الشائعة هي عندما يكون الطفل مرهقًا، أو مصابًا

بالتهاب رئوي أو استرواح الصدر، أو يستنشق بعض المواد الصلبة أو السائلة، أو يتم تحفيز العصب المبهم في البلعوم كما هو الحال عند تمرير أنبوب التغذية الأنفي المعدي أو الإفراط في شفط البلعوم/القصبة الهوائية. الأسباب الرئيسية لانقطاع التنفس عند الأطفال ترجع إلى مركز التحكم في الجهاز التنفسي غير الناضج/غير المتطور أو عندما يصابون بنوبة. يمكن أن تحدث النوبات بشكل غير متوقع في حالة ارتفاع درجة الحرارة (غالبًا درجة حرارة تزيد عن 40 °درجة مئوية)، وغالبًا ما تُرى عند الأطفال دون سن الخامسة الذين تكون آليات التحكم في درجة حرارتهم في منطقة ما تحت المهاد غير ناضجة.

تعد تشوهات الجهاز العصبي المركزي مثل النزيف الدماغي وصدمات الولادة الدماغية واليرقان النووي والتهاب السحايا كلها محفزات نادرة لانقطاع التنفس، ولكن غياب التنفس قد يكون أول أعراضها إذا كان النخاع والجسر متورطين. يمكن أن تؤثر التأثيرات الأيضية الناجمة عن نقص المعادن وانخفاض نسبة السكر في الدم والعلاج الدوائي أيضًا بسرعة على أنظمة الجسم' التوازن الداخلي مما قد يؤثر لاحقًا على محفزات التهوية من الدماغ. كما يؤدي الانسداد الخلقي والثانوي، مثل انسداد مجرى الهواء التشريحي عند الولادة أو تغطية وجه الطفل في أي عمر، إلى توقف التهوية وبالتالي أكسجنة أنسجة الجسم.

التغيرات في سن البلوغ:

من سن الخامسة وحتى سن البلوغ يتضاعف وزن الرئتين ثلاث مرات، وترتفع السعة الحيوية من 1000 إلى 3000 سم مكعب، وتتحسن سعة الرئة الكلية من 1400 إلى 4500 سم مكعب عند الطفل في النسبة المئوية الخمسين في المائة (انظر الفصل العاشر لشرح النسبة المئوية). يزداد حجم الرئة الإجمالي أثناء الراحة مع نمو الرئتين؛ ويظهر هذا التغيير بالتساوي عند الأولاد والبنات. تميل معدلات التنفس إلى أن تكون أعلى قليلاً عند الأولاد، ربما بسبب تغير كتلة الجسم النحيل مع اقترابهم من سن البلوغ وزيادة الأنسجة العضلية الخالية من الدهون التي لديها طلب استقلابي أعلى للأكسجين من الدهون. يكتمل نضوج أنسجة الجهاز التنفسي بعد ثماني سنوات. من سن الثامنة وحتى سن البلوغ، تحدث زيادة في المساحة الهوائية من خلال تضخم الحويصلات الهوائية والممرات الهوائية.

طوال مرحلة الطفولة، يظل حجم الرئتين بنسبة ثابتة إلى كتلة الجسم؛ وترتبط سعة الرئة بشكل أفضل بتغير ارتفاع الجسم. تتأثر التهوية ومدة الشهيق والزفير بمقاومة التدفق في الشعب الهوائية ومرونة (امتثال) أنسجة الرئة. يتم إنشاء المقاومة عن طريق احتكاك التدفق داخل كل من الرئة والممرات الهوائية العلوية. سيؤدي تدخين السجائر والعيش في بيئة هوائية ملوثة في هذه الفترة إلى إتلاف بطانات الجهاز التنفسي الهشة والأكياس الهوائية النامية. يتم تحديد الامتثال من خلال الخصائص المرنة للرئة والأنسجة الضامة والحويصلات الهوائية، وكذلك جدار الصدر. مع نمو الطفل وتضخم الشعب الهوائية، تقل

المقاومة وينخفض معدل التنفس. إن الامتثال، الذي تحسن بسرعة أكبر في العامين الأولين وظل مرتفعا نسبيا حتى خمس سنوات، يزداد الآن بسرعة أكبر من انخفاض المقاومة. وجد أريتس (2007) أن الأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين أربعة إلى اثني عشر عامًا والذين يعيشون مع آباء مدخنين لديهم انخفاض كبير في وظائف الرئة مماثل لما يظهر لدى المدخنين؛ واقترح أن قيود التدخين المفروضة في الأماكن العامة قد تعرض الأطفال لمزيد من الخطر حيث يضطر الآباء إلى التدخين أكثر في منازلهم. أظهر جوديرمان وآخرون (2007) أن الأطفال الذين يعيشون بالقرب من الطرق السريعة هم أكثر عرضة للإصابة بالربو وأمراض الجهاز التنفسي الأخرى وأظهروا نموًا أقل في حجم الرئة مقارنة بأولئك الذين يعيشون بعيدًا عن المناطق المزدحمة بالمرور.

Age	*Rate*	*Toohigh*
Newborn	30–50	Over60
1year	26–40	Over50
2years	20–30	
4years	20–26	Over40
5years	19–25	
6years	18–24	
7years	17–24	
8years	17–23	
9years	16–23	
10 years	15–22	
11 years	14–21	
12 years	14–21	
13 years	13–20	
14 years	12–20	
15 years	12–19	
16 years	11–14	

معدلات التنفس عند الأطفال من واليس وآخرون (2005) في حالة الراحة

قياس معدلات التنفس:

يجب أن نتذكر أن تقييم التنفس يعتمد على تعاون الطفل ويجب قياسه لمدة دقيقة كاملة عندما يكون الطفل في حالة راحة (Aylott 2006). يرجع معظم الإلهام أثناء الراحة إلى تقلص الحجاب الحاجز، لذلك لا توجد حركة واضحة للصدر؛ في التنفس الطبيعي، يتحرك صدر الطفل وبطنه معًا. ذروة تدفق الزفير (PEF) هي اختبار بسيط لوظيفة الرئة: أعلى تدفق يتم تحقيقه من مناورة الزفير القسري القصوى يبدأ دون تردد من موضع التضخم الأقصى للرئة (Tantucci et al. 2002). يتم قياسه باللتر في الدقيقة ويحدث في العُشر الأول من الثانية من الزفير. الأطفال الذين تقل أعمارهم عن ست سنوات لا يمكن الاعتماد عليهم في أسلوبهم، مثل عدم بذل أقصى جهد في القراءات الثلاث المطلوبة، لذلك فإن PEF ليس مفيدًا للطفل الأصغر سنًا (Booker 2007).

التنفس أثناء ممارسة الرياضة:

تزيد التمارين الرياضية من الطلب على الأكسجين بواسطة الخلايا العضلية وإفراز ثاني أكسيد الكربون؛ وهذا يؤدي إلى زيادة التهوية السنخية وزيادة النتاج القلبي وإعادة توزيع الدم إلى العضلات. تتغير هذه الوظائف الفسيولوجية الثلاث مع نمو الطفل ونضجه، وتستجيب للطبيعة الجسدية لأسلوب الحياة الذي يعيشه. في حين أن الطفل يستطيع توفير الأكسجين لخلايا العضلات لإنتاج الطاقة، فإن التحلل الكامل لجزيء السكر يحدث لإطلاق ATP (طاقة الخلية)، وثاني أكسيد الكربون والماء هما النفايات (التنفس الهوائيإذا انخفضت مستويات الأكسجين، يحدث التنفس اللاهوائي في خلايا العضلات لفترة قصيرة من الزمن حيث يتم إنتاج حمض اللاكتيك من التحلل غير الكامل للجلوكوز لإطلاق ATP؛ وهذا قد يسبب إحساسًا بالحرقان في العضلات. ينقل الدم حمض اللاكتيك في النهاية من العضلات إلى الكبد حيث يستخدم الأكسجين لتحويله مرة أخرى إلى جلوكوز. قد يستمر الطفل في التنفس بشدة بعد ممارسة التمارين الرياضية الشاقة لأنه يدفع دين الأكسجين ‘’ (Thibodeau and Patton 2007). يمكن أن تزيد التهوية الشاملة عشرين ضعفًا أثناء ممارسة التمارين الرياضية؛ وتزداد مع زيادة قوة ومعدل تقلص عضلات الجهاز التنفسي. يزداد تدفق الدم إلى عضلات الجهاز التنفسي بنسبة تتراوح بين 5 إلى 12 في المائة. في الرئتين، يزداد تدفق الدم إلى الشعيرات الدموية الرئوية مع سحب الأكسجين إلى الحويصلات الهوائية.

هناك زيادة في استخلاص الأكسجين عن طريق العضلات مع ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض حموضة الدم بسبب إفراز ثاني أكسيد الكربون؛ يتسارع أيضًا تفريغ الأكسجين من

الدم إلى الخلايا حيث يتم 'تبادل' المزيد من ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تحلل الجلوكوز مع الأكسجين. يبدو أن الشباب لديهم توزيع محيطي أكثر ملاءمة للدم أثناء ممارسة الرياضة، مما يسهل نقل الأكسجين إلى العضلات التي تمارس الرياضة. يبدو أن الأطفال لديهم كمية أكبر قليلاً من الميتوكوندريا ومستوى مرتفع من بعض الإنزيمات التي تساعد على استخدام الأكسجين بواسطة الخلايا الموجودة في خلايا أنسجة الجسم مقارنة بالبالغين، مما قد يزيد من القدرة التأكسدية لعضلاتهم.

ومع ذلك، فإن لديهم مخزون جليكوجين في خلايا العضلات (الطاقة المخزنة) أقل بكثير من البالغين ويبدو أنهم أقل قدرة من البالغين على توليد ATP (أدينوسين ثلاثي الفوسفات – مصدر طاقة الخلية) عن طريق تحلل الجليكوجين عند أداء تمارين شاقة (لاهوائية) لفترات تزيد عن عشر إلى ستين ثانية. يزداد الأداء اللاهوائي مع تقدم العمر؛ حيث يبلغ أداء الأولاد في سن الثامنة 70% فقط مقارنة بالأولاد في سن الحادية عشرة الذين لديهم عضلات أكبر. تظهر الفتيات تحسنًا مستمرًا في وظيفة العضلات مع تقدم العمر؛ حيث تصل إلى ذروتها في سنوات المراهقة ولكنها لا تحقق أبدًا أداء الأولاد، الذين تزداد قدرتهم اللاهوائية بشكل أكبر مع تقدمهم في السن وحتى سن البلوغ.

يعاني الأطفال من فرط التنفس أثناء ممارسة التمارين الرياضية، وتتغير أنماط التهوية لديهم مع نموهم. قد يكون ذلك بسبب الاختلافات المرتبطة بالعمر في حجم الرئة أو الضوابط العصبية أو الاختلافات المرتبطة بالحجم في آليات التهوية. وقد يكون ذلك أيضًا بسبب تغير امتثال الرئة ومقاومة مجرى الهواء. تتغير نسب الدهون/النحافة لدى الأطفال مع تقدمهم في مرحلة الطفولة، وهذا يؤثر على امتصاص الغازات لأن ثاني أكسيد الكربون سيتم تخزينه في أنسجتهم الدهنية. لديهم تركيزات الهيموجلوبين أقل من البالغين؛ في تبادل الغازات يرتبط الهيموجلوبين بثاني أكسيد الكربون ويعمل كعازل لأيونات الهيدروجين في الدم حيث يذوب هذا الغاز وينتقل على شكل حمض الكربونيك. على مدى فترات طويلة من النشاط الهوائي، فإنهم محرومون لأنه على الرغم من أن امتصاصهم للأكسجين جيد على الأقل مثل البالغين، إلا أن لديهم مخزونًا أصغر من الجليكوجين العضلي وأنظمة تنظيم درجة الحرارة غير الناضجة. يجب التعامل مع التمارين الرسمية، مثل برامج التدريب البدني، أثناء الطفولة بحذر، خاصة إذا كانت الظروف البيئية معاكسة.

أثناء ممارسة التمارين الرياضية القصوى، قد يصل حجم الهواء في الدقيقة لدى طفل يبلغ من العمر خمس سنوات إلى 35 لترًا، بينما قد يصل حجم الهواء في الدقيقة لدى شخص بالغ إلى 150 لترًا أو أكثر؛ حيث يمثل حجم الدقيقة كمية الهواء التي تحركها الرئتان في الدقيقة. يتمتع الأطفال بمعدلات تنفس أقل عمقًا وأكثر تكرارًا، ولكن فيما يتعلق بكتلة الجسم، فإن لديهم نفس الحجم الدقيق للبالغين. في أي مستوى من التمارين الرياضية، يتنفس الأطفال

الصغار أكثر لتوصيل كمية معينة من الأكسجين إلى دمائهم، وبالتالي إلى خلايا أجسامهم، مقارنة بالمراهقين. ويبدو أيضًا أن الأطفال الأصغر حجمًا لديهم محرك تهوية أكثر حساسية لثاني أكسيد الكربون.

وبما أن تهوية الحويصلات الهوائية هي التي تحرك تبادل الغازات، ولأن الأطفال لديهم ‘مساحة ميتة’ أصغر من البالغين، فإن تهوية الحويصلات الهوائية لديهم كافية لممارسة الرياضة (أرمسترونج 2007). يمكن أن يعزى الفرق بين الجنسين بين قيم الأكسجين القصوى لدى الأطفال أثناء ممارسة الرياضة، ولياقتهم الهوائية، إلى النشاط البدني المعتاد وتركيز الهيموجلوبين. لقد ثبت باستمرار أن الأولاد أكثر نشاطًا بدنيًا من الفتيات ويظهرون نسبة أكبر من كتلة الجسم النحيل. ومن المثير للاهتمام أن الأولاد يظهرون أيضًا امتصاصًا أعلى للأكسجين على الرغم من أن الهيموجلوبين لديهم يشبه الفتيات في سنوات ما قبل البلوغ.

ومع ذلك، عند البلوغ، تكون الاختلافات بين الجنسين واضحة حيث يطور الأولاد كتلة عضلية أكبر وتركيزًا أعلى للهيموجلوبين تحت تأثير هرمون التستوستيرون. ويزداد الحد الأقصى لامتصاص الأكسجين لدى الأولاد’ بنحو 150 في المائة على مدى الفئة العمرية من ثمانية إلى ستة عشر عاماً، بينما تظهر الفتيات زيادة بنسبة 80 في المائة فقط. وترتفع قيم الأولاد’ بنحو 13 في المائة عن الفتيات في سن العاشرة، مع زيادة إلى 37 في المائة في سن السادسة عشرة. ومع ذلك، في الذكور الذين تتراوح أعمارهم بين اثني عشر إلى ستة عشر عامًا، تفسر كتلة الجسم والعمر والطول 74 في المائة من التباين؛لم يرفع هرمون التستوستيرون في الدم الدرجات بشكل ملحوظ. عند الفتيات، أدى تراكم الدهون في الجسم في سنوات البلوغ إلى تقليل الحد الأقصى لامتصاص الأكسجين، في حين ظل الأولاد في الفئة العمرية من عشرة إلى ستة عشر عامًا ثابتين في الكتلة والعمر والطول. تستمر الأبحاث حول تأثير النضج على أداء التمارين الرياضية لوظيفة الجهاز التنفسي لدى الأطفال الأكبر سنًا، وكيف يمكن للتمارين الرياضية أن تعمل على تحسين استخراج الأكسجين المحيطي في الجهاز القلبي الوعائي والعضلات النامية.