التغيرات البيوميكانيكية خلال مراحل النمو
Biomechanical changes through out in life span

أعداد

ا.د / عادل عبد البصير علي*

بينما ينمو ويتطور الجسم ، تحدث تغيرات تؤثر على ميكانيكية تحركه . فمثلاً بينما يكبر الطفل ، تزداد كتلته ، وطول أطرافه ، وتغير هذه التغيرات الأحمال التي تتحملها مختلف المفاصل ، والعضلات ، الأربطة والأوتار . ويعتبر عنصراً هاماً كيف تغير متغيرات النمو بيوميكانيكية الحركة للفهم الشامل لحركة الإنسان عبر حياته ، لذلك سوف يحاول الباحث في هذه الدراسة المرجعية دراسة التغيرات الحادثة في مفاهيم القصور الذاتي ، والكفاءة ، والقياس الحيوي الذي بحث اختلاف حجم جسم الإنسان والنشاطات الأساسية لفعل الوقوف والجري والحفاظ على الاتزان نتيجة لما يحدث من تغيرات عبر حياة الإنسان . بالإضافة إلى أهمية التغيرات الحادثة في أبعاد الأطراف وعلاقتها بأبعاد الجسم وتحمل الحمل ، والتغيرات في مساحة السطح وحجم الجسم مع الوضع في الاعتبار أيضاً شدة الأحمال على جسم الإنسان وتوليد الأكسجين إلى الخلايا العاملة .

تغيرات القصور الذاتي Inertia changes

القصور الذاتي هو قصور الجسم وعدم قدرته على تغيير حالته ، ويقاس في الحركة الخطية والحركة الزاوية عن طريق إدراك كتلة عزم القصور الذاتي على التوالي

---

* ا.د/عادل عبد البصير على :أستاذ الميكانيكا الحيوية المتفرغ ورئيس قسم علوم الرياضة بكلية التربية الرياضية ببورسعيد ، جامعة قناة السويس .

عبر العشرة سنوات الأخيرة أشار شميدث نيلسون Schmidt Nelson (1991) عن بوب جنسين Bob Jensen إلى عدة مفاهيم ومعلومات عن الطريقة التي يؤثر بها النمو على القصور الذاتي للإنسان . أستخدم في عمله كلا الطريقتين الطولية والمرجعية لفحص كيف يتغير عزم القصور الذاتي ومركز الكتلة بين الطفولة والمراهقة (٩٠:٥) .

تزيد كتلة الطفل خلال نموه وبالتالي أطرافه ، لذلك يزيد القصور الذاتي لكل جزء من الجسم خلال سنوات النمو أكثر من هذا يتغير الطول النسبي لمختلف أجزاء الجسم ، وتصبح الرأس أصغر بالنسبة للجسم ، وخلال العمر تظهر الكتلة النسبية لمختلف الأجزاء كنسب مختلفة في الأطفال بالمقارنة بالبالغين ، وكمثال توصل بوب إلى أن كتلة الرأس في طفل سنه ٤ سنوات تمثل ٢٠% من كتلة الجسم ، بينما في سن ١٢ سنة تقل إلى ١٠% وفي سن ٢٠ سنة تقل إلى ٧% وعلى الجانب الآخر تزيد نسبة العضد ، والساعد خلال سنوات النمو بينما كتلة اليدين بالنسبة إلى كتلة الجسم تظل ثابتة ، ويتبع القدم نموذج مشابه لليدين ، بينما تظهر الرجل والفخذ زيادة مبدئية حتى نهاية المراهقة متبوعة بنقص نسبة الكتلة ، توالي التغير الحادث في الأطراف (الرجل ، الفخذ ، العضد ، الساعد) صغير (<٢%) خاصة بالمقارنة بالتغيرات في كتلة الرأس .

من المؤكد أن الحوادث الناجمة عن سقوط الأطفال تمثل خطرا كبير ا على إصابات الرأس عند الأطفال عن الكبار وبالرغم من إثارة الجدل حول هذا الموضوع إلا أن الكبار نتيجة لقدرتهم على التحكم في التحرك وخبرتهم يملكون القدرة على الحماية من السقوط عن الأطفال ، أيضا من المحتمل أن كبر أبعاد الرأس في الأطفال بالنسبة لحجم الجسم تجعل الرأس أكثر عرضة للإصابة أكثر من هذا بسبب أن الرأس كبيرة نسبيا (٢٠%من وزن الجسم) بالمقارنة بالبالغين (٧%) يكون الطفل الصغير ثقيل القمة مما يجعله أقل ثباتا من البالغين . يعني هذا النقص في الثبات تمهيدا لحوادث السقوط . نفترض أن هناك محورين (ا) له كثافة موحدة والآخر (ب) ثقل الرأس ولكن المحورين متشابهين في الكتلة ويمثل العمود الأول الشخص البالغ (ا) والعمود الثاني يمثل الطفل (ب) مع اختلاف نسب جسميهما

كما يفترض أن مركز ثقل العمود (ا) هو ٥٠% من ارتفاعه بينما العمود (ب) مركز ثقله ٦٠% من ارتفاعه ، لو العمودين عرضوا لقوة خارجية مثل التي تحدث في حالة السقوط ، سوف تحدث قوة الوزن عزم torque بتسارع زاوي للعمود نحو الأرض .

يعتمد حجم هذا العزم torque على وزن العمود ومسافته من القاعدة عند أي زاوية بين الوضع العمودي والأرض ، ذراع عزم قوة وزن العمود (ب) يكون الأكبر من العمود (ا) لذا يتسبب العزم في سقوط العمود (ب) ويكون الأكبر بالرغم من أن وزن كلا العمودين متساوين ، لذلك نستخلص من هذا التشابه أن الطفل بمجرد أن يفقد التوازن يتسارع نحو الأرض أسرع من الشخص البالغ بسبب كبر حجم الرأس وكتلتها .

أحد النتائج المهمة لدراسات جنسين ارتباط نصف قطر دوران أجزاء الجسم بوضع مركز ثقل الكتلة ، يرتبط نصف قطر الدوران بعزم القصور الذاتي في أي جسم صلب وهو المسافة من المحور الذي يحدث حول الدوران إلى النقطة التي عندها كتل متساوية لها نفس المقاومة للدوران كتوزيع الكتلة .

عندما يعبر عن هاتين المسافتين بأجزاء من طول أجزاء الجسم ، تبقى النسب غير متغيرة خلال النمو حتى السن المتأخرة ويبقى نصف قطر الدوران ثابت حوالي ٣٠% برغم التغير المطلق في الكتلة والطول . وفي مجال التطبيق تشير النتائج إلى أن الكثافة وشكل الأطراف تبقى متشابهة خلال مراحل العمر بهذا المعنى تبدوا أطراف الأطفال متناسبة القياس طوال مراحل العمر .

برغم حقيقة أن الموضع النسبي لمركز الكتلة لأجزاء الجسم ونصف قطر الدوران يظل ثابت عبر العمر ، إلا أنه يوجد تأثيرات مميزة للتغير المطلق الذي يحدث في هذه المقاييس حيث أن كل من الكتلة ، والأطوال وعزم القصور الذاتي للأطراف والجذع بالنسبة للشخص البالغ أكبر منها في الأطفال .إذن ما هي التأثيرات في الحركة؟ تسارع الطوف أو الجزء الطويل أكثر صعوبة من مماثلة القصير ، خاصة إذا كان أثقل من القصير . ولوحظ أن الأشخاص البالغين الأطول لهم تردد أقل من الأطفال ومن الأشخاص البالغين الأطول في الجري ، لا يستطيع البالغون الطوال تحريك طرفهم السفلي بنفس السرعة مثل البالغين الأقصر أو الأطفال . ومع ذلك نتيجة لأطراف الأطفال القصيرة نسبيا مطلوب منهم أن يقوموا بخطوات أكثر لتغطية نفس المسافة عن الأشخاص البالغين .

وبسبب نقص طول الخطوة بالنسبة لقصر الطرف السفلي والنقص وعزم القصور الذاتي وزيادة سرعة تحرك الأطراف يتطلب الأمر من الشخص القصير زيادة عدد الخطوات (تردد الخطوة) لتغطية نفس المسافة التي يقطعها بسبب نقص طول الخطوة (٢:١٦٠) .

الكفاءة Efficiency

الكفاءة هي نسبة الشغل الميكانيكي الخارجي (مقارنة بالارجوميتر) التكلفة الفسيولوجية . والسؤال الذي يطرح نفسه هل الكفاءة تتغير بتقدم السن ؟ بالرغم من أن هذا السؤال مازال غير مجاب عليه بدرجة كبيرة إلا أن الأطفال ربما يكونوا أقل كفاءة من الأشخاص البالغين في مجال النشاطات شاملة المشي والجري .

يوضح علماء وظائف الأعضاء أن اقتصادية الجسم في تكلفة الأوكسجين لعمل كمية ثابتة من الشغل تتغير مع السن (٣:٢٦٨) .

مثال :

يتطلب الطفل كميات أكبر من الأوكسجين لكل كيلوا جرام من الجسم مسافة ثابتة عن الشخص البالغ . وأكثر من هذا ، في الطفل النامي ربما يظل ثابت أقصى استهلاك للأوكسجين ، بينما يتحسن الاقتصاد في الممارسة ومن ثم ، للجري بسرعة منتظمة بشغل في سن الثامنة يكون بنسبة كبيرة عن طفل في سن الثانية عشر سنة . والسبب في هذا التغير في الاقتصاد كبير يشمل عدة عوامل منها :

* الإزاحة الرأسية لمركز ثقل الكتلة خلال نمو الطفل ، التي توجد ترد رأسي أقل .
* زيادة طول الخطوة .
* نقص الانحراف الخارجي .
* القدرة الأكبر لنقل الطاقة بين أجزاء الجسم .
* تغير تركيب الجسم .
* تحسن نماذج استخدام الطاقة والقدرة على التحكم في النفس (الطفل الأكبر والبالغ لهما قدرة كبيرة على التحكم في سرعة الجري وبهذا يتفادى التعب السريع) .

* تغير قوة العضلات ، المطاطية ، نوع الألياف والدعم الدموي .
* تغيير نسبة مساحة السطح بالنسبة للكتلة .

إن الهدف من الجري هو تحريك الجسم أفقيا ، وبهذا الأكثر كفـــاءة هـــم الذيـــن يؤدون هذه المهمة بأقل طاقة بقدر الإمكان . لو تحرك الجسم لأعلى ولأسفل ، يبذل الشـــغل في رفع مركز كتلة الجسم . لسوء الحظ عندما تعود هذه الطاقة عند سقوط الجســـم خلفـــا للأرض ، لا يوجد هناك ميكانزم جيد ومناسب لتخزين هذه الطاقة وتفقد كحرارة .

وبمعنى آخر العضلات التي تعمل في رفع الجسم لا يمكنها تخزين الطاقة ، كطاقـــة مثلى ، عندما يهبط الجسم مرة أخرى ، لذلك هذا الشغل يعتقد أنه مستهلك بما أنه لا يجـذب الجسم للأمام . ويكون مثل هذا الفقدان للطاقة غير كفء .

يجب أن يصاحب زيادة طول الخطوة بنقص في تكرار الخطوة عند ثبـــات ســـرعة الجري (بما أن سرعة الجري هي ناتج للعاملين) . بينما الطفل ينمـــو ، طـــول الخطـــوة stride length الطبيعي المفضل يزيد استجابة لطول الطرف limb length لذا يجب أن يقـــل تردد الخطوة stride frequency للجري بسرعة منتظمة .توجد عدة أسباب محتملة لتحســـن الاقتصاد كدالة لزيادة طول الخطوة . أحد هذه الأسباب هو أن كمية الشغل الداخلي تقل . لذا فلو كان تردد الخطوة منخفض الشغل المبذول في تحرك أعضاء الجســـم لأعلـــى ولأســـفل وللأمام وللخلف يكون أقل بينما ينتقل مركز كتلة الجسم للأمام (٥:٦٤٤ -٦٤٦) كلما زاد عدد الخطوات المطلوبة لكم معين من الشغل الخارجي كلما زاد الشغل الداخلـــي . وبمـــا أن الشغل الداخلي له تكلفة فسيولوجية ، تقل الكفاءة بسبب أن استهلاك الأوكسجين يزيد بدون أداء أي عمل خارجي إضافي .

الطفل له قدرة تردد عالية رأسية لمركز ثقل الجسم عن الأشخاص البالغين . وتبعا لذلك يفقد الأطفال طاقة أكبر في تحريك مركز أجسامهم لأعلى ولأســـفل عـــن الأشـــخاص البالغين وكل هذه الحركة الرأسية تكون مضيعة للمجهود . بينما الطفل ينمو طريقة الجـــري تتغير والحركة الرأسية للجسم تقل ، وتؤدي إلى زيادة اقتصادية الجري .

بالنسبة للأشخاص البالغين الحركة من الجانب للجانب أو الانحراف الجانبي للجسم صغيرة بينما في الطفل هذه الحركة كبيرة .أيضا بالمثل الحركة الرأسية للجسم في الطفل أكبر من الحركة الرأسية عند الأشخاص البالغين . والحركة الجانبية للجسم وأجزائه كفاءتها عكسية بما أن الانحرافات عمودية على اتجاه الحركة المطلوبة والطاقة المستخدمة في تحريك الجسم من جانب إلى جانب غير مفيدة وبدون كفاءة . ربما الانحرافات الجانبية أقل كفاءة من الحركة لأعلى أو لأسفل والسبب ليست فقط لأنها تطلب شغل من العضلات لتحرك الجسم في اتجاه وإنما لأنها أيضا تجبر العضلات على بذل شغل مساو لعودة الجسم مرة أخرى إلى الوضع الأصلي .

مجموعة حركات أجزاء الجسم للمؤدي الماهر ثابتة جدا وصممت لتفيد وضع المطاطية في تركيبات مثل الأوتار والعضلات . مثل هذا الاستخدام يزيد نقل الطاقة بين وخلال أعضاء الجسم . عندما يمكن تخزين الطاقة في الأنسجة المطاطة ، خاصة خلال النشاط اللامركزي ، الجسم يمكنه استهلاك الطاقة لتوليد طاقة حركية فيما بعد . الميزة في هذا النقل أنه أكثر كفاءة لتقليل الوقت بين مرحلة اللامركزية للحركة والمركزية . عن طريق زيادة المعارة يتعلم الأفراد كيف تحرك أجزاء الجسم بكفاءة تشمل توقيت حركة أجزاء الجسم .

هذه الملحوظة دائما تناقش بين المعلقون على الرياضة عند وصف كيف أن الضارب الماهر لاعب الجولف يبدو أنه يلعب بلا مجهود . الرياضي الماهر يعلم كيف يشمل أجزاء الجسم بتوقيت مناسب خلال الحدث ويخزن الطاقة المطاطة التي تستخدم لتوليد طاقة حركية في وقت مختلف . عامة هذا الاستخدام الكفء للطاقة المطاطة أقل ظهورا في الطفل النامي عن الشخص البالغ .

يبدو منطقي أن الأطفال تفقد أنسجة دهنية القوى المولدة من العضلات لعمل شغل يحرك الأنسجة على الأقل مع فائدة فسيولوجية أقل . كمثال ، الطفل الصغير له ٢٠% من جسمه دهون والشخص البالغ له ١٠% من جسمه فقط ، من ثم الطفل عنده كتلة إضافية يحركها ، وهذه الكتلة ليست لها مساهمة في عمل الحركة . واضح أن المعاناة الاقتصادية تنتج نتيجة للتكلفة الفسيولوجية المرتبطة بالشغل الإضافي لتحريك هذه الكتلة .

يمكن أن يؤدي تغير قوة العضلات ، والمطاطية ، ونوع الألياف والدعم الدموي إلى تغيرات في الكفاءة فمثلا إذا عملت العضلات بأقصى جهد تؤدى بأقل كفاءة عما إذا عملت بجهد أقل من الأقصى . ربما يساعد في فهم ذلك التشابه مع السيارة . إذا عملت السيارة بالقرب من الحد الأقصى لإنتاج القدرة ، كفاءتها تقل نتيجة عوامل مثل زيادة إنتاج الحرارة ، عدم القدرة على إزالة كاملة لمنتجات الهدم وزيادة الاحتكاك . يحدث سيناريو مشابه في الآلات الحية ، حيث تصبح غير كفء نتيجة تراكم الحرارة عند العمل قرب الحد الأقصى . لذا لو الطفل عمل بالقرب من الحد الأقصى لينهي كمية معينة من الشغل الخارجي سيكون أقل كفاءة من الشخص البالغ ، الذي يحتاج للعمل فقط بأقل من الأقصى لإنهاء نفس الكمية من الشغل (١٤٩:١-١٥١) .

تتغير كثير من العوامل الفسيولوجية خلال نمو الطفل في أغلب الأحيان من الصعب جدا تقرير إذا كانت هذه التغيرات التي تحدث في كفاءة الشغل الفسيولوجي عبر الحياة نتيجة لعوامل بيوميكانيكية مثل تحسن التكنيك أو القدرة على تخزين واستهلاك الطاقة المطاطة أو إذا كانت نتيجة وظائف فسيولوجية مثل تحسن القدرة على نقل واستخدام الأوكسجين .

المقياس scaling
الأساسيات fundamentals

تستخدم قصة الطفولة في رحلات جوليفر Gulliver كمثال مألوف لتوضيح الحالة التي فيها شكل الإنسان مقياس للارتفاع أو الانخفاض . في قصة سو يفت Swift ، الليليبوتيان Lilliputian كانوا مماثلين لجسم الإنسان ولكن أصغر من حجم الإنسان ١٢ مرة (أقزام) . يستخدم مصوري الكرتون أيضا المقاييس لخلق أبطال مجسمين وبأحجام كبيرة أو حيوانات بالكرتون بنسخ من الإنسان أو الحيوانات بمقياس رسم متناسق سهل الفهم والخلق ويصعب تحقيق ذلك في الأجسام الحية .

نأخذ مثال بناء بلوك من الوحدات المهندس عند التفكير في الأساسيات ، يهتم بالوزن أو الحمل الذي يطبق عليه ويقوم بعمل العمق المناسب والطول والعرض . ولو أراد مع ذلك من خلال هذا المتطور زيادة مستويين فوق الموجود ببساطة أغلب الناس يعرفون أن هذا غير ممكن حيث أنه لكي تضيف مباني جديدة يجب أن يكون الأساسيات الموجودة تتحمل ذلك الوزن الإضافي .

هذه المبادئ أيضا تطبق على الحيوانات والكائنات غير الحية . أما بالنسبة للكائنات الحية عند مقارنة الاختلافات في الشكل والوظيفة الحيوانات الصغيرة والكبيرة ليس في فقط الزيادة الكبيرة في (حوالي ١٠٠٠٠مرة) لكن يوجد تغير في الشكل وتركيب الأنسجة لتجمل القوة . فمثلا عند مقارنة قوة وزن جناح أو رجل طائر توجد تكيفات . عظام الجناح أخف ومجوفة بينما عظام الرجل سميكة وثقيلة وقوية عن الجناح . وتمثل هذه التغيرات تكيفات للضغوط على التركيب . يحتاج الطائر خلال الطيران إلى تقليل فقد الطاقة ولهذا العظام أخف وزنا ، مع ذلك عند هبوط وزن الجسم كله يجب أن يدعم ولهذا الرجلين تمده بالدعم وتعطي عامل آمان . هذا النوع من التكيف في المملكة النباتية و الحيوانية .

كما يلاحظ أن أغلب العظام في جسم الإنسان مجوفة في الشكل المقطعي وهذا النوع من التركيب يعطي قوة كبيرة عن التركيب المصمت لنفس القطعة من المادة . والعظام المجوفة أقوى في الثني من الصلبة لنفس الوزن . عرف المهندسون هذه الحقيقة منذ زمن بعيد ، وصانعوا العجلات هذه الأيام يستخدموا هذا المبدأ في إطارات عجل السباق .تصميم هذه الآلات يجب أن يكون قوي إلى حد يتحمل فيه الوزن . أفضل تصميم يقابل متطلبات التحميل على هذه الآلات يشمل مقاطع رفيعة الجدران ، ومجوفة تقلل الوزن وتزيد القوة (٤:١٠٠-١٢٠) .

يستخدم مقياس الرسم المناسب في تعديل ألعاب البالغين ، والأنشـــطة الرياضيـــة للأطفال هناك العديد من الأسئلة الهامة المتعلقة بمقياس الرسم في رياضات الأطفال . فمثـلا في الرياضات ما طول الحاجز للطفل ولأي مسافة تنظم مسابقات الجري ؟ في ألعاب الكـــرة هل يعطى الطفل نسخة مصغرة من مضرب تنس الكبار أو مضرب الجولف ؟ الأفضـــل هـــو إعطاء الطفل أدوات تتناسب مع حجمه وتحمله ، ربما تزيد المتعة والرضا والنجاح للطفـــل في هذه الألعاب المناسبة له .

تعرف دراسة التغيرات في التركيب والوظيفة للشكل وللجســـم بمقيـــاس الرســـم ويفحص مجال المقياس الأسئلة المتعلقة خصوصا بطرق الأبعاد مثل ، الارتفاع والقوة بينما الجسم يتغير في الحجم . الآن سوف ننظر إلى الأبعاد ونرى كيف ترتبط . سنكتشف في هذا العمل تغيرات أبعاد كثيرة يمكن ربطها بالنمو في بعد واحد للجسم .

المقياس الهندسي مألوف للجميع . الهندسة الأقليديـــة geometry Euclidean ، تشابهه المثلثات التي فيها الزاويا وأطوال الثلاث أضلاع متشابه كما فـــي الشـــكل (١) . ويظهر نفس التشابه في المكعب في الشكل (٢) والذي فيه الأضـــلاع تبقـــى فـــي نســـب متساوية . وأيضا الخط للجوانب . وبمعنى آخر البعد الخطي لطول جانب مقيـــاس(٢:١) لكن نسبة مساحة السطح هي (٤:١) (ودالة رباعية) . وأكثر من هذا يختلف الحجم في النسبة (٨:١) (علاقة تكعيبية) .

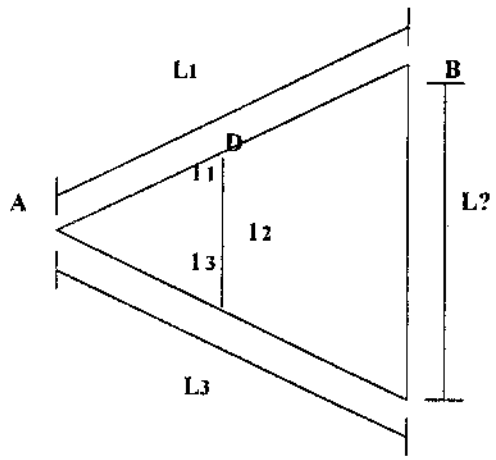
عندما ترسم مساحة مسطح مكعب مقابل الحجم تكون المعادلة :

$$A = av^{3/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

وإذا رسمت مساحة المسطح لكل وحدة حجم شكل (٣-٥) تأخذ العلاقة شكل المعادلة التالية

$$A = av^{1/3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

ويشير ذلك إلى أن مساحة السطح لكل وحدة حجم تنقص بينما الحجم الكلي يزيد مرة أخرى ، هذه الرموز ربما تكون مألوفة لك ، تذوب نفس مكعبات السكر أسرع في مشـــروب لـــو الجزئيات الدقيقة أكثر من الكبيرة خلال الجزئيات الدقيقة مساحة السطح لكل وحـــدة حجـــم تكون كبيرة ويسمح هذا بالذوبان بسهولة .



△ S ABC and ADE are similar

$$\frac{l1}{l1} = \frac{l2}{l2} = \frac{l3}{l3}$$

شكل (١٠-١)

تشابه الزاويا ونسب أطوال الأضلاع في المثلثان المتشابهان

طريقة حسابية بسيطة لتوضيح هذه العلاقة باستخدام المعادلة التالية :.

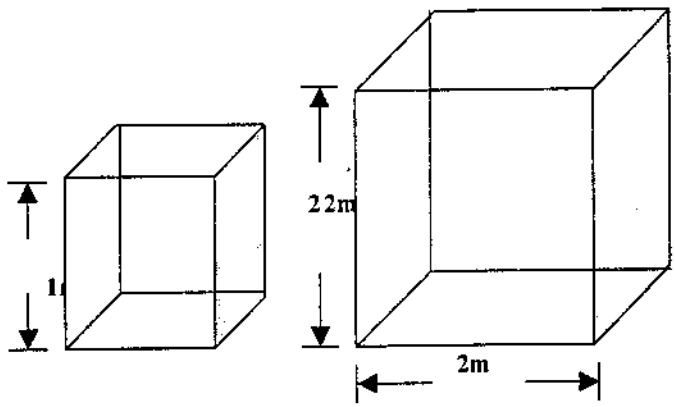
$$Y = ax^{b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

حيث أن Y = متغير مستقل ، a = مقدار ثابت

وباستخدام رموز مساحة سطح المكعب وحجم المكعب يمكن أن تكون العلاقة كما يلي :-

$$A = x^2$$
$$V = x^3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

حيث أن A = مساحة سطح المكعب ، x = طول ضلع المكعب ، V = حجم المكعب . هذه الرموز يمكن أن تمتد لرسم العلاقة بين مساحة السطح والحجم . والشكل (٣-٥) يوضح هذه العلاقة بيانياً .



$A = 1\ m^2$
$A = 1\ m^3$

$A = 2\ m^2$
$A = 2\ m^3$

شكل (٢)

مكعبان متشابهان لهما أطوال أضلاع تظل في تناسب ثابت

مثال آخر مألوف لدينا أن الطفل يفقد حرارة أسرع من البالغ بسبب أن مساحة السطح لكل وحدة كتلته أكبر من الكبار . بالرغم من أن المقياس الهندسي أو الايزوميتري مفيد للأشياء الهندسية مثل المكعبات ، الجينيوميتر ، المثلثات ، إلا أن معظم الأشياء البيولوجية لا تستفيد من القياس الهندسي . تحتاج إلى مقياس غير منتظم وبرغم هذا تلاحظ العلاقات البسيطة عبر مدى كبير من الحيوانات مختلفة الأحجام أحد الأدوات المناسبة لوصف هذه العلاقات هي الرسم اللوغاريتمي ، الذي فيه الأبعاد التي في مقياس لوغاريتمي جمال هذا المدخل أنه عند اللوغاريتم الطبيعي للعلاقة مثل المعادلة (١) تقوم العلاقة الناتجة بتحولها إلى انحدار خطي أخذ لوغاريتم المعادلة (١) يعطي المعادلة :

$$A = ax^{b}$$

$$\text{Logy} = \log a + b \log x \qquad (5)$$

في هذه المعادلة ، لوغاريتم a هو تقاطع y للدالة الخطية ، b (أس المعادلة (١)) هو انحدار الخط .

حيث أن المعادلات نسبيا أسهل للرؤية ، في كونها تزيد الانحدار (b كبيرة) حيث أن التغير التابع يزيد بسرعة استجابة للزيادة في المتغير المستقل . بالمثل ، يرسم الانحدار السلبي في خط الانحدار بسهولة ويشير الانحدار السالب إلى أن المتغير التابع يقل بينما المتغير المستقل يزيد .

تستخدم هذه الطريقة لأخذ لوغاريتم العلاقة الآسية بانتظام لوصف الروابط بين الأنظمة البيولوجية التي تتنوع في الحجم ، استخدم المقياس اللوغاريتمي أينما توجد اختلافات في الكتلة ، الطول و الحجم للحيوانات بالآلاف يحول البيانات إلى شكل فيه العلاقة بسيطة شكل (٣-٢) يوضح كيف العلاقة بين الحجم - المنطقة ، تصبح المناقشة مبدئيا للمكعب انحدارات خطية بسيطة عندما نرسم على مقياس لوغاريتمي .

الأمثلة المشروحة التالية تساعد في فهم أهمية المقياس في العالم البيولوجي مع هذا ، قبل البحث هذه الأمثلة خمسة علاقات أساسية يجب أن تقرر وهي ترتبط بكتلة الشيء وبعده الخطي .

$$m = l = v^{3}$$

$$l \alpha m^{t}$$

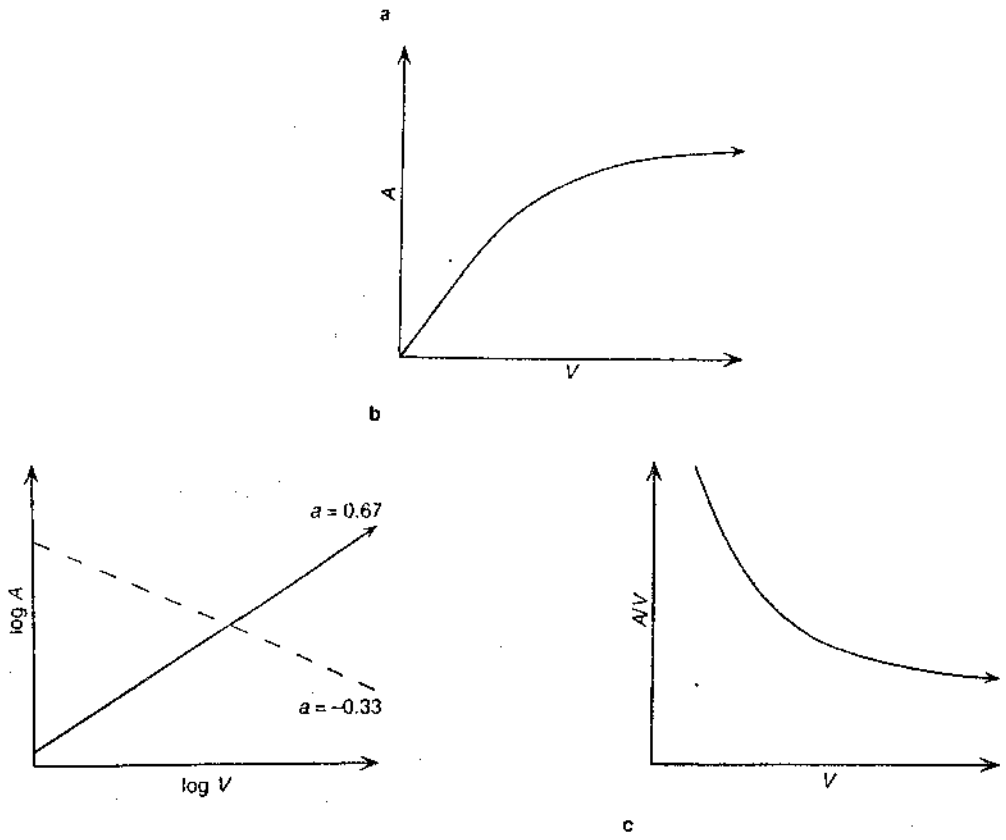
$$A = l^{2} \qquad (6)$$

$$A = m^{3/2}$$

هذه العلاقات لها تأثيرات كبيرة على قوة وحجم العظام بالنسبة إلى الكتلة وتدعمها .

يمكن فقد كمية حرارة الجسم وكذلك الحدود الأيفية ، تنظيم الحرارة ووسائل إمداد الأوكسجين للأبقى علاقات أخرى يمكن أن تساعد لتفسير لماذا الأطفال ليس لهم نفس القدرة الوظيفية مثل الكبار . تمدنا الملاحظة في المملكة الحيوانية بأدلة للتطور داخل التركيبات التي تمكن الحيوانات من العمل مع أخطار منخفضة لفشل التركيب كمثال الحيوانات الكبيرة مثل الأفيال ووحيد القرن لها أرجل مربعة قصيرة لدعم وزنهم الكبير ، بينما الحيوانات مثل الوعل والزرافة لهما أطراف أسطوانية طويلة هذه الأنواع لها أجسام قصيرة بالنسبة للارتفاع .

الضغط في كثير من النشاطات البدنية ، التركيبات في حدود الجسم والفشل تمثل مشكلة كمثال باترك كاش Patrick Cash أحد أبطال بطولة ويمبليدون للتنس former Wimbledon tennis انقطع وتره أكليس (أكبر وتر في الجسم عند الكامل) خلال مباراة تنس طبيعية ربما جسم الإنسان مصمم لتحمل أنواع من الحمل المتوالدة خلال المنافسات الرياضية العالية . أكثر من هذا ربما الأنسجة غير قادرة على التكيف بسرعة كافية للأحمال المنتجة للتنافس في الرياضة الحديثة .



شكل (٣)

يوضح الوظيفة عندما مساحة السطح لمكعب ترسم كدالة لحجمه ، (a) تأخذ العلاقة أشكال مختلفة لو مساحة السطح رسمت لكل وحدة حجم كدالة (b) ، لوحظ اللوغاريتم لهاتين العلاقتين حصل عليهما ورسمت (c) علاقة خطية مباشرة يحصل عليها من المنطقة (الخط المتصل) وغير مباشرة توجد للمنطقة لكل وحدة حجم (الخط المنقطع)

كيف تتنوع قوة العظام ؟

الهيكل العظمي له تركيب مدعم يمنع الجسم من التهاوي ويسهل الحركة ، حيث تعمل المفاصل كنظام روافع تحركها العضلات التي تسمح بنقل ودوران أجزائه ، بالإضافة إلى أنه يقوم بالكثير من الوظائف البيولوجية الأخرى مثل تكوين كرات الدم الحمراء وحماية الأعضاء الحيوية (١:١٠٩-١١٧) .

ومن هنا يبرز سؤال مهم هو كيف يقاس الهيكل العظمي لكتلة الجسم ؟

للإجابة على هذا التساؤل نعتبر أن جسم الحيوان أو الإنسان ، مدعم على عمودين (الأطراف السفلية) الحمل الكلي الذي يدعم العمودين هو كتلة الجسم (Mb) .

لو أن القوة العضوية للعظام نفترض أنها ثابتة فإن زيادة القوة يتم الحصول عليها بزيادة أبعاد العظام . عرف جاليليو Galileo هذه الحقيقة في أوائل القرن السادس عشر . لزيادة الأعمدة المدعمة ، المقطع فيها يجب أن يتناسب مع الحمل الذي تحمله هذا ما جعل أن الانحدار اللوغاريتمي يجب أن يكون كبديل ، المنطقة المقطعية يجب أن تزيد بالتناسب بينما الجسم يزيد في الكتلة ، كل الأبعاد الخطية تزيد ، لهذا طول العمود يزيد بالنسبة للجسم (معادلة ٦) .

الحجم (أو الكتلة معادلة ٦) يجب أن يتناسب منتج المنطقة المقطعية والطول . وباختصار تتنوع الكتلة الهيكلية بالتناسب مع كتلة الجسم بزيادة القوة ١,٣٣ . بمعنى آخر لدعم الكتلة الزائدة بدون خطر من الفشل التركيبي ، معدل الزيادة في الكتلة للهيكل العظمي يجب أن يكون أكبر من معدل زيادة كتلة الجسم كله .

يوضح الشكل (٤) العلاقة بين مدى كتلة الجسم وكتلة الهيكل العظمي . خط انحدار هذه البيانات هو :

$$Ms = 0.061\ I\ Mb^{1.09} \qquad (7)$$

حيث أن Ms = كتلة الهيكل العظمي (كجم) .

إذا أسس المقياس على متطلبات لتحميل الجاذبية ، يبدو من البيانات أن الهيكل العظمي للحيوانات الصغيرة زيادة الأبعاد أو كبديل الحيوانات الكبيرة أقل بعدا . الأس المتوقع هو ١,٣٣ أكبر من الملاحظ ١,٠٩ . بمعنى آخر معدل الزيادة في كتلة الهيكل العظمي بينما يزيد كتلة الجسم ليست أعلى من المتوقع على أساس تحمل حمل الجاذبية .

العالم الشهير ماكنيل ألكسندر Mceil Alexander لديه حل ممتاز للتميز الواضح بين النتيجة المتوقعة وبملاحظة البيانات لبرنامج موضح في الشكل (٤) . أظهر ماكنيل ألكسندر أن أقصى تعب خلال الحركة هو معيار للمقياس عن طريق إظهار ذلك التعب خلال الحجل والجري عبر أي مدى كبير لأنواع على نحو ثابت ، يبين 150.50 MN/m2 . هذا المدى يقترب من القوة النهائية للعظم ويشير إلى أن هذا الأساس المحتمل للمقياس وليس للكتلة التي ترتكز على مقاومة الجاذبية .

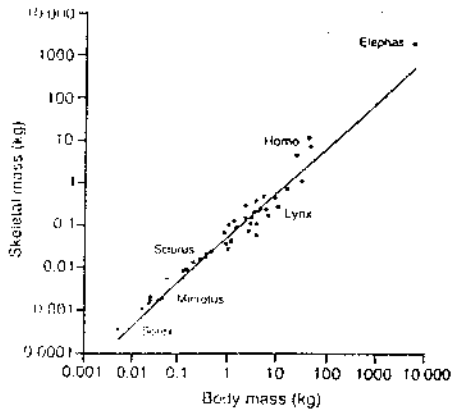
من هذه النظرية المبنية على ملاحظة البيانات حجم الأسطوانة يتناسب مع مربع نصف قطرها وطولها باستخدام هذه المسلمة وبيانات ماكنيل ألكسندر الذي أوجد أن أطوال الرجل تتعلق مع $M_b^{0.33}$

وأن قطر العظمة يتعلق ب $M_b^{0.35}$

ووجد بروس وآخرون Bruce et . al (١٩٩٧م) أن كتلة الهيكل العظمي ستقاس نسبيا بالمعادلة :

$$M_b = [(M_b^{1.07} \times M_b^{0.35} \times M_b^{0.36})]^2 \quad . \quad (٢:١٦٢)$$

هذا هو النموذج يتفق مع البيانات الموجودة في الشكل (٤) .



شكل (٤)

منحنى مدى كتلة الهيكل العظمي كدالة لكتلة الجسم

لأنواع الحيوانات في المملكة الحيوانية

كيف يتأثر الأيض بالحجم ؟ How is metabolism influenced by size ?

جمعت البيانات الهامة المتعلقة بمعدل الأيض (التمثيل الغذائي) وكتلة الجسم ونشرت . بالرغم من ملاحظة أن الكائنات تستخدم الطرق الأيضية الهوائية والاهوائية ، إلا أنه عامة الطرقة المقبولة لتقويم معدل الشكل (٥) (المنحنى المشهور المعروف الفأر – والفيل والمعدل ليندكت Benedict (١٩٣٨م)) .

ترتبط كتلة الجسم بمعدل الأيض لأنواع من الثدييات فوق ٢٠٠٠٠٠ مرة (كتلة الفيل أكبر ٢٠٠٠٠٠ مرة من كتلة الفأر) . الانحدار الخطي ٠,٧٥ مما يعني أن معدل الأيض يتناسب مع $M_b^{0.75}$

طريقة أبسط لترجمة هذه العلاقة هي ملاحظة أن معدل الأيض لا يزيد كتلة الجسم بأسوع من ما يمكن (٢:١٦٥،٦٦) .

لو اعتبرنا أن الهدف الأول المحافظة على درجة حرارة الجسم في الثدييات ، إذن نتوقع أن استهلاك الأوكسجين يرتبط بمساحة سطح الجسم . بما أن مساحة السطح تتناسب مع $M_b^{2/3}$ أو $M_b^{2/3}$

المعادلة (٦) حيث أن 1 = البعد الخطي للجسم ، إذن نحن نتوقع أن معدل الأيض يجب أن تتناسب مع $M_b^{2/3}$

حيث أن الحيوانات الأصغر التي لها سطح كبير يتناسب مع كتلتها سوف تمتلك أعلى معدل أيض في الراحة أكثر من الحيوانات الكبيرة التي لها مساحة سطح صغير (بالنسبة لكتل أجسامها) . مع ذلك البيانات لا تدعم بدقة التوقع الجبري . الانحدار المتوقع على أساس مساحة السطح هو معياري ٠,٦٦ لكن البيانات الملحوظة للانحدار ٠,٧٥ .

ما هو السبب الحيوي للاختلاف بين الملحوظة والمتوقع ؟

بدون الدخول في تفاصيل حسابية ، من الكافي أن نعرف أن الحل المنطقي موجود . لو استخدم التشابه المطاطي وليس الاعتبار الهندسي في القياس . يتم موافقة النموذج النظري للبيانات الملحوظة . التشابه المطاطي هو التشابه بين تركيب في الحيوانات التي تتهدد بنفس الخطر المطاطي تحت وزن أجسامهم باستخدام هذا المعيار وليس الهندسي يشير إلى إن معيار الطول (L) بالنسبة إلى $M_b = M_b^{3/8}$ ¾

هذه البيانات المحدودة تتناسب تقريبيا مع النظرية . والخلاصة المعيار للتشابه المطاطي يبدو أنه يمد قاعدة حيوية لمعدل الأيض لكتلة الجسم وجميع نتائج البحث من قياسات فسيولوجية أخرى مثل معدل ضربات القلب وتكرار التنفس تدعم هذا النموذج ، ويلاحظ أن البيانات أظهرت توافق مناسب مع النموذج النظري في الواقع أقل توافق مربع للوغاريتم البيانات أظهرت انحدار خطي متساوي بدقة مع التوقع ٠,٧٥ تظهر الأحداث الحيوية أساسا أنها تتبع قوانين فيزيائية / ميكانيكية .

التأثير خلال النمو Implication during growth

استخدم القياس الجبري وسيلة مفيدة للحصول على رؤية نحو مدى تغير القوة خلال النمو كتتابع للتغير في أبعاد الجسم . مثال بنى على أساس نوعين من الأفراد من حجم مختلف لتوضيح بعض الأفكار المفيدة . اعتبر طفل طوله ١٠٠سم وآخر ١٥٠سم ، ارتفاعهما بنسبة ١,٥:١ باستخدام العلاقات الأساسية السابق ذكرها أي مقطع مثل العظام ، العضلات ، الأوعية الدموية والممرات الهوائية تكون ٢,٢٥:١ بينما الحجوم بمقياس ٣,٣٧٥:١ في الطفل الأطول تكون المناطق المقطعية أكبر من الطفل الأقصر . بهذا الشخص الصغير بكتلة ٢٠كجم يكون الطفل الأكبر بكتلة ٦٧,٧٥كجم (٣,٧٥ x ٢٠كجم)

نتوقع باستخدام هذه النسب أن الشخص الكبير يكون قادرا على رفع ٢,٢٥ مـــرة أكثر من الشخص الصغير بما أن قوة العضلات متناسبة مع المقاطع تكون أقدر ٣,٧٥ مـــن الصغير . بالإضافة لذلك إذا كانت المهمة تشمل على حركة لكتلة الجسم ، مثال ذلـــك فـــي حالة أداء الرافعات ينعكس الموقف والشخص الكبير يتم إعاقته بكتلة إضافية في الواقع فـي مثل هذه المناشط المقياس يتناسب بعكس الارتفاع .

لذلك لو كان ارتفاع الشخص الأصغر يعتبر القوة لكل وحدة واحد للشخص الأطـول الذي يزيد ١,٥ مرة تكون القوة لكل وحدة كتلة إلى الثلثين (١/١,٥) .

يتناسب تكرار الحركة تناسبا عكسيا مع الطول وهو ثابت في المشاهدات اليومية ، يستخدم الشخص الطويل البالغ خطوات أطول بمعدل أقل من القصـــير (الطفـل) . هنـاك أسباب طبيعية جيدة لكيفية تناسب التكرار عكسيا مع طول الخطوة . فكر في الموقف التـالي : لو طوحت عصا طويلة مشابهة للعظام الطويلة في الجســـم وتحركـت بنفـس الـتردد قصورها الذاتي يسبب فشلها لهذا السبب الإنسان لا يمكنه تحريك طرفـه مثـل الحيوانـات الصغيرة كالطائر والفأر وحتى لو العضلات يمكن تغيرها لتسمح بحركـــة متوســطة ٢٥% زيادة في السرعة ، العظام وربما الأنسجة الرخوة تفشل .

توقع آخر مبنى على أساس مقياس أبعاد الجسم يتعلق بأداء القفز تناسب القـــدرة على رفع مركز ثقل كتلة الجسم مباشرة مع القوة التي تنتجها العضـــلات والمســافة التـــي خلالها تنقبض وترتبط عكسيا مع وزن الجسم باستخدام العلاقات السابق شـــرحها ، يكـــون أداء الوثب لا يعتمد على الحجم بسبب أن القوة تتناسب مع مربع الطول ($f\alpha L$) لذلك القـــوة في المسافة مقسومة على الكتلة تعطى نسبة واحد

$$\frac{f.s}{m} = 1$$

في أنواع مختلفة من الحيوانات هذه العلاقة تبدو حقيقية بالرغم من أن الحيوانات الطويلـــة لها ميزة بسبب أن مركز ثقلها مرتفع عن الحيوانات الصغيرة .

يتميز الذين يملكون أطراف سفلية طويلة وكتلة جسم لم تتجاوز مكعب الطول (L3) ، ولكن مع تناسب سفلي ، يجعلهم طوال بالنسبة لوزنهم . لهذه الأسباب البالغين لهم ميزة عن الأطفال بخصوص أداء الوثب العالي .

الارتباك البلوغي Adolescent awkwardness

يتفق الكثير من الأفراد على أن المراهقين يفقدون قوتهم في هذه المرحلة من مراحل النمو وخاصة الذكور . اهتم الباحثون بهذه الظاهرة لسنوات تعود إلى ١٩٢٠م أعطى البحث المنظم لعينة كبيرة من التلاميذ في السبعينات والثمانينات بيانات كمية عن الارتباك البلوغي والذي نلخصها فيما يلي :

* خلال المراهقة ، يوجد تغير كبير في حجم وقوة العضلة والعظام ويفترض حدوث ذلك بسبب التغير السريع في أبعاد الجسم الأداء للمهام الحركية التي تتطلب قوة ، إقلال القدرة والتوافق

ويشتمل الأساس لهذا الافتراض :

١-بسبب زيادة الطول والكتلة تتسبب في كبر عزم القصور الذاتي ويؤدى ذلك إلى الارتباك

٢-بسبب تأخر زيادة حجم وقوة العضلة بالنسبة إلى النمو الهيكلي ، يصبح الأداء في المناشط التي تتطلب القوة والقدرة صعبا .

• خلال هذه الافتراضات الأدلة محل شك . أشارت الدراسات التي تم تنفيذها على هذا الموضوع إلى أن نسبة ذات دلالة إحصائية من الأولاد أظهرت نقص في الأداء ، خلال فوط النمو للمهارات الحركية التي تتطلب حركات فيها يبذل الشغل مقابل مقاومة من وزن الجسم نفسه . مع ذلك يوجد نسبة صغيرة من الأولاد أظهروا نقصا في الأداء في المهام المميزة بالسرعة مثل الوثب العمودي . وخلال النمو الفرط يكون ذو علاقة مباشرة إيجابية بين القوة والسن بالإشارة إلى أن القوة المطلقة تزيد ومع ذلك بسبب النمو الهيكلي الذي يسبق الجسم نفسه تتأثر سلبيا .

أي نقص في الأداء يحدث خلال مرحلة فرط النمو مؤقت ولا يؤثـــر علـــى الأداء على هذه المهام مثل البالغين . من المسلم به أنه غالبا التوافق والحركة والثبات يقل خلال سنوات سرعة زيادة الطول بنســـبة صغـيرة (١,٦%) إن أغلـب الأولاد (٩٨,٤%) يتحسن توافقهم الحركي خلال فرط النمو ، ويستمر هذا التحسن خلال السنوات الأولى مـــن البلوغ .

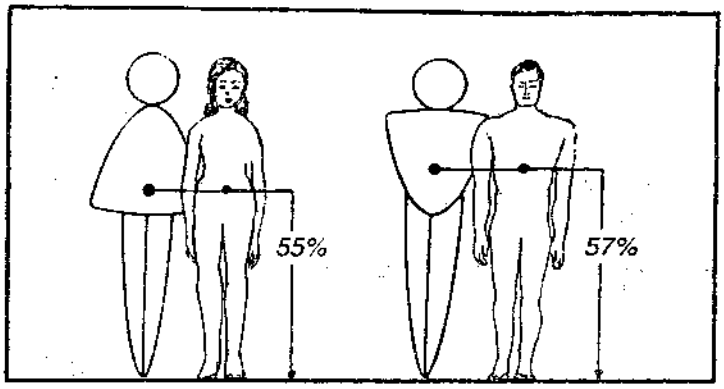
والخلاصة ، مفهوم الوعي البلوغي معقد بسبب أن الطرق التي فيها تحدد وبسـبب أن الأفراد يظهرون نقص في الأداء على بعض المهام عكس الآخرين . ومع ذلك من المـهم أن نتذكر أن أغلب المراهقين يتحسنوا في التوافق والقوة خلال فرط النمو . لا توجد أدلـــة لفرض أن ملاحظة الارتباك البلوغي مقيدة بالرغم من الإشارات القليلة لفقد التحكم الحركـي خلال النمو للنبات .

اختلافات الجنس Sex difference

معلومات قليلة متوفرة على الاختلافات بين الذكور والإناث في المميزات للقصـــور الذاتي وتغير مقاييس البيوميكانيكيا في الحياة . أوضحت الذكور أنها أكثر كتلة ولهم أطراف أطول من الإناث لكن أبحاث قليلة متوفرة أظهرت لا اختلافات بيـــن كتـــل أجـــزاء الجســـم المختلفة المسافة بين مركز الكتلة أو محور الدوران .

أحد المميزات الحاسمة في البيوميكانيكا أنه من الواضح الاختلاف بين الجنس فـي وضع مركز ثقل الجاذبية . عند التعبير عن ارتفاع مركز ثقل كتلة الجسم بنسبة مئوية يكون في الذكور والإناث ٥٧% ، ٥٥% على التوالي أنظر الشكل (٦) .

هذه الاختلافات تعكس اختلافات توزيع الكتلة بين الذكور والإناث ، الذكور عـــادة يكونوا أكبر في الأكتاف والصدر ولكن في المعنى المطلق ، الإناث عريضة الحـــوض . إذا كان لهذه الاختلافات أي تأثير على الأداء الحركي فهو أمر غير مثبت . نظرياً ، الإناث مـــع مركز جاذبية منخفض يكونوا أكثر ثباتاً في المواقف الثابتـــة عـــن الذكـــور حيـــث أن ٢% اختلاف تعطى ميزة وظيفية غير محددة .



شكل (٦)

موضع مركز ثقل كتلة جسم الذكور ٥٧% و الإناث ٥٥%

المراجـــــــع

١-عادل عبد البصير على :(١٩٩٩م)، الميكانيكا الحيوية والتكامل بين النظرية والتطبيق ، الطبعة الثانية ، مركـــز الكتاب للنشر ، القاهرة .

٢---------- :(٢٠٠٠م)، التحليل البيوميكانيكي لحركـات جسم الإنسان (أسسه وتطبيقاته) ، المطبعة المتحدة سنتر ، بورفؤاد-بورسعيد .

3-Bruce A., Vaughan K., laurel: (1997), The Biophysical foundation Traeger M., Robert j. N. Stephanie H. of Human Movement, Humane Kinetics united states of America.

4-Cavagen , G.A and M.Kaneko : (1977), Mechanical work and efficiency in level walking and running . J. Physiol., (London).

5-Schmidt Nelson .K : (1991), Scaling why is Animal size so important university press, Cambridge.

6-Whipp, B.J., and : (1973), The Mechanical efficiencies of running and bicycling against horizontal impeding force. Int. Z. Angew. Physiol (31).