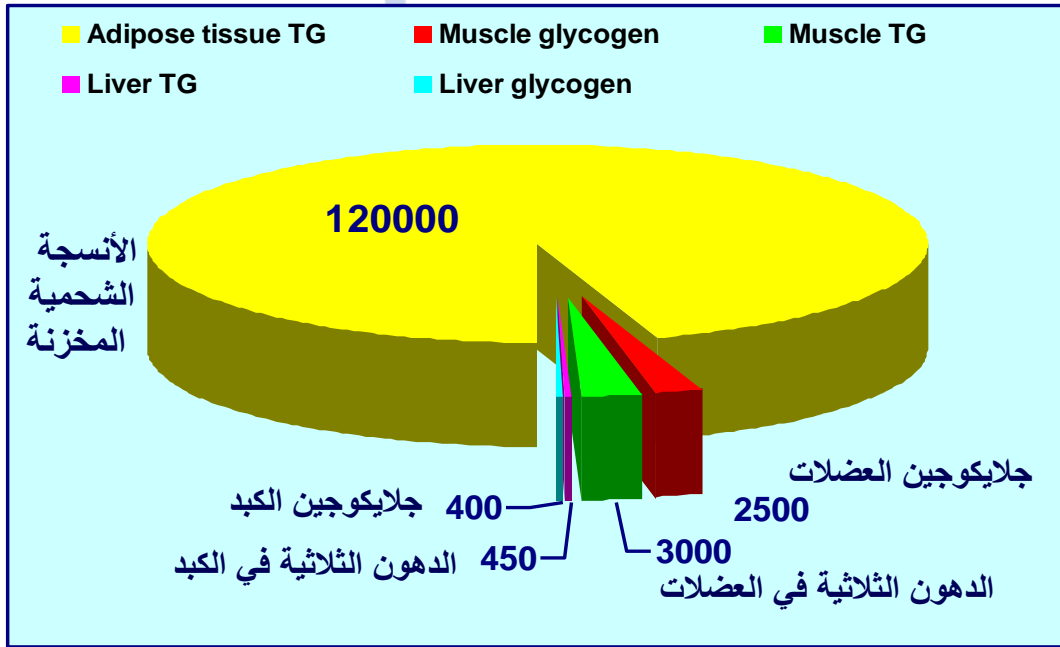


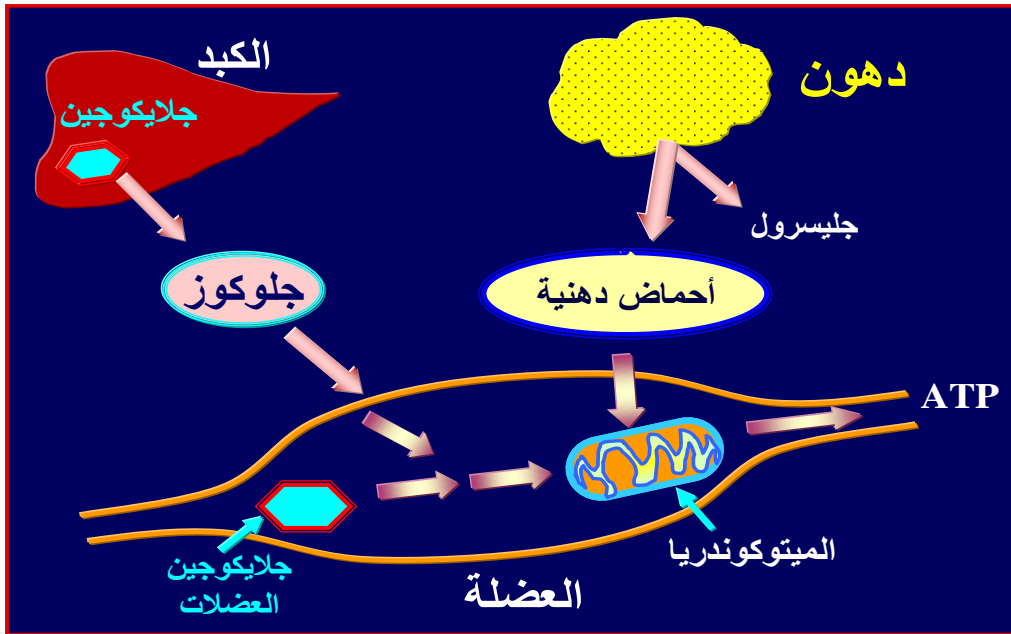
الوقود المستخدم أثناء الجهد البدني

نظراً لأن الكربوهيدرات هي الوقود المفضل من قبل الجسم بغرض إنتاج الطاقة اللازمة للانقباض العضلي، بل أنها الوقود الوحيد المستخدم في الشدة القصوى من الجهد البدني أو القريبة من القصوى، ونظراً لأن الدهون هي الوقود الأكثر توافراً في الجسم، ولأن استخدام البروتينات يعد محدوداً جداً أثناء الجهد البدني، فسيتم التطرق إلى الكربوهيدرات والدهون كوقود للعضلات أثناء الجهد البدني بدون الإشارة إلى البروتينات. ومن المعلوم أن أهم عاملين يؤثران على معدل استخدام أي من الكربوهيدرات أو الدهون هما: شدة الجهد البدني ومدته، وكذلك مقدار الكمية المتوفرة من الوقود. ونظراً لأن الدهون تعد متوفرة بكميات كافية جداً في الأحوال الاعتيادية لدى الإنسان، فإن العامل الحاسم في الواقع يصبح هو مدى توفر مخزون الكربوهيدرات في الجسم وخاصة جلايوجين العضلات، حيث من المعلوم أن المخزون الجلايوجيني مهما زاد يعد محدوداً، ولا يكفي كوقود وحيد في الجهد البدني الذي يدوم لأكثر من ساعة. ويوضح الشكل رقم (1) تقديراً للطاقة بالكيلو سعر حراري المتوفرة من كل من الدهون والكربوهيدرات، حيث يظهر بوضوح أن الطاقة القادمة من تحلل الشحوم تعد كبيرة جداً مقارنة بالطاقة القادمة من الكربوهيدرات، علماً بأن الجسم لا يمكنه في الواقع أن يستخدم عملياً المخزون الجلايوجيني في العضلات غير العاملة، لأن العضلات تفتقد الأنزيم الذي يمكن له تحويل جلايوجين العضلات إلى جلوكوز، وبالتالي فإن كمية الطاقة المتوقعة فعلياً من جلايوجين العضلات في الجسم هي أقل من الكمية الموجودة في العضلات مجتمعة.



شكل رقم (1): كمية الطاقة بالكيلو سعر حراري الممكن الحصول عليها من كل من الدهون والكربوهيدرات.

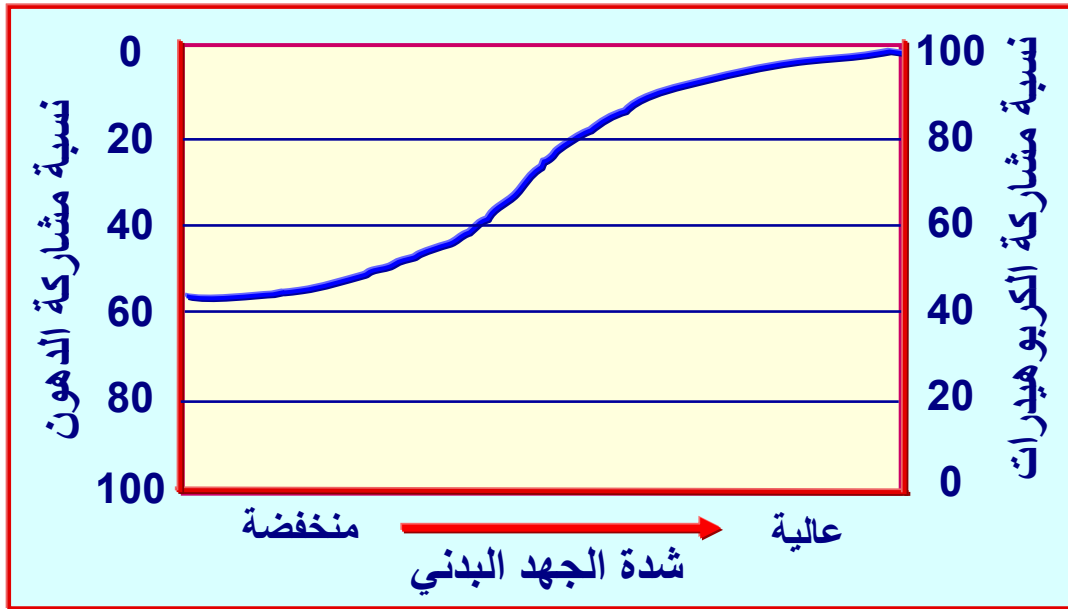
أما الشكل رقم (2) فيبين رسماً إيضاحياً لكيفية استخدام كل من الكربوهيدرات والدهون الثلاثية كوقود من قبل العضلات أثناء كل من الراحة والجهد البدني، حيث تتمثل الكربوهيدرات في كل من الجلوكوز المتحلل من جلايوجين الكبد وكذلك بالمخزون الجليكوجيني الموجود في العضلة، ويمكن لكل منهما أن يتحلل تحلاً لاهوائياً وينتهي بشكل رئيسي بحمض اللبنيك، في حالة كان الطلب على الطاقة عال جداً ولا يتيح الفرصة لحمض البيروفيك في أن يذهب إلى الميتوكوندريا (بيت الطاقة) للدخول في العمليات الأيضية الهوائية. أما إذا كان الطلب على الطاقة ليس عالياً (أي أن شدة الجهد البدني منخفضة إلى معتدلة) فإن معظم حمض البيروفيك الناتج من التحلل الجلوكوزي أو الجليكوجيني يذهب إلى الميتوكوندريا ويدخل في سلسلة من العمليات الأيضية الهوائية ليعطي عدداً أكبر من أدينوسين ثلاثي الفوسفات ولكن بمعدل أبطأ مما هو في حالة العمليات الأيضية اللاهوائية.



شكل رقم (2): يتمثل الوقود المستخدم أثناء الجهد البدني في كل من الكربوهيدرات (جليكوجين العضلات والجلوكوز) والدهون (الأحماض الدهنية من الشحوم المخزنة، والدهون الثلاثية في العضلات).

أما الدهون، خاصة منها المخزنة على هيئة أنسجة شحمية في أماكن متعددة من الجسم، فيمكنها التفكك إلى أحماض دهنية وجليسرول، وبالتالي يتم تجهيزها (Mobilization) ثم يزداد تركيزها في الدم، مما يساعد على دخولها إلى العضلة وبالتالي استخدامها (Utilization) من قبل الخلايا العضلية في عمليات كيميائية تسمى أكسدة بيتا من أجل إنتاج الطاقة للانقباض العضلي، خاصة أثناء الجهد البدني المنخفض إلى المعتدل الشدة. كما أن الدهون الثلاثية (Muscle Triglycerides) المخزنة في العضلات نفسها يمكن لها أيضاً أن تتفكك

وتستخدم كوقود لإنتاج الطاقة اللازمة لانقباض العضلات. وغني عن القول أن تحلل الدهون (أو أكسدتها) ينتج طاقة أكبر بكثير مما يمكن إنتاجه من خلال تحلل الكربوهيدرات هوائياً، حيث يمكن الحصول على ATP 129 في حالة أكسدة حمض النخليك أو ATP 149 في حالة أكسدة حمض الأركادونيك، مقابل ATP 39 في حالة تحلل الجليكوجين هوائياً. غير أن استخدام الدهون كوقود يعتمد على شدة الجهد البدني المبذول، ففي الشدة المنخفضة إلى المعتدلة تقوم العضلات باستخدام الدهون من أجل إنتاج الطاقة اللازمة لانقباضها، وتصل نسبة مشاركة الدهون في الجهد البدني المنخفض الشدة لدى الشخص غير الرياضي إلى حوالي 60%، لكن نسبة مشاركتها تنخفض بشكل طردي مع زيادة شدة الجهد البدني، لتصبح مشاركة الدهون حوالي صفراً في الجهد البدني الأقصى أو القريب من الأقصى، كما هو موضحاً في الشكل البياني رقم (3).



شكل رقم (3): نسبة مشاركة كل من الكربوهيدرات والدهون كوقود أثناء الجهد البدني تبعاً لشدته (المصدر: Fox (E, et al, 1988).

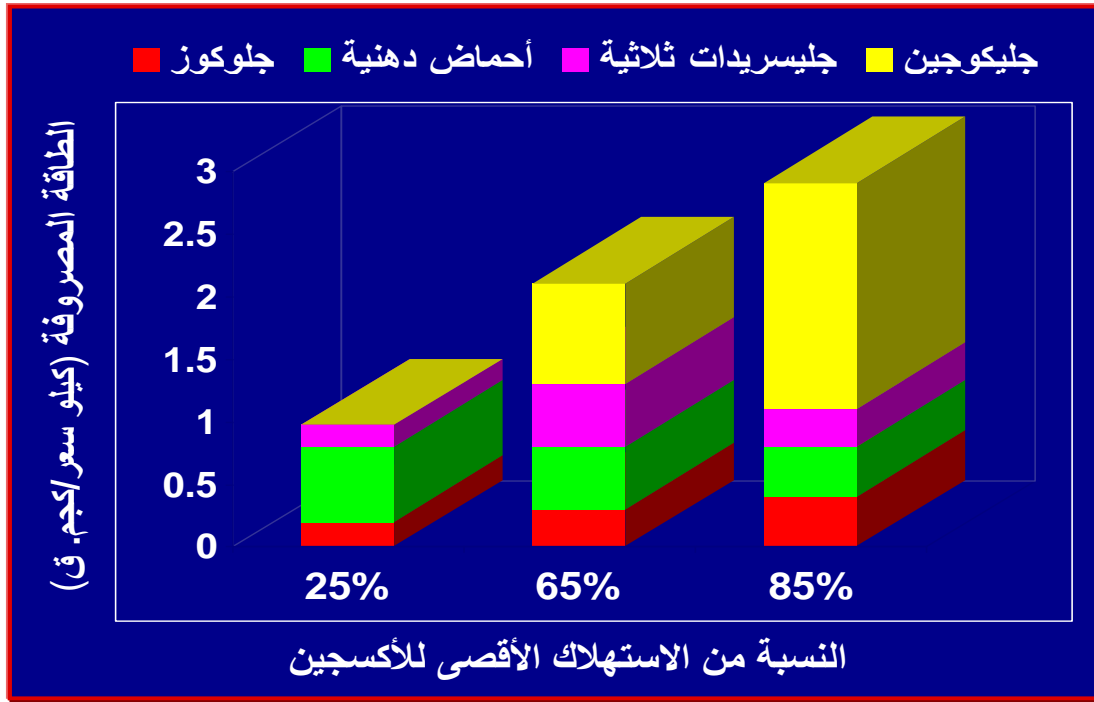
جلايوجين العضلات كوقود أثناء الجهد البدني

يعد تخزين الكربوهيدرات على هيئة جلايوجين من قبل الجسم طريقة اقتصادية ومناسبة جداً، حيث من المعروف أن الجلايوجين يتكون من سلسلة طويلة من جزيئات الجلوكوز، التي يمكن إطلاقها (تحللها) متى ما تطلب الأمر ذلك. فبالإضافة إلى سهولة تخزين الجلوكوز على هيئة جلايوجين في العضلة بغرض

استخدامه كمصدر للطاقة، فإن جزيء الجلوكوز يعتبر غير مستقر (Reactive)، وبالتالي يؤدي التركيز العالي منه في الدم إلى إحداث ضرر لبروتينات جدران الأوعية الدموية، مؤدياً إلى جعلها أكثر سماكة وأشد كثافة، الأمر الذي يقود في النهاية إلى خفض معدل دخول الأكسجين والمغذيات إلى الخلايا. وكما أشرنا سابقاً، فإن المخزون الجليكوجيني في العضلات ليس كبيراً جداً، حيث يتراوح محتوى العضلات من الجليكوجين من 9-20 جراماً لكل كيلو جرام من العضلات، ويعني ذلك أن لدى الشاب الذي يزن 70 كجم ويتغذي تغذية متوازنة وغير فقيرة بالكربوهيدرات حوالي 350 جراماً من الجليكوجين، غير أن التدريب البدني والتغذية الغنية بالمواد الكربوهيدراتية ترفع هذا الرقم إلى حوالي 500 جرام من الجليكوجين.

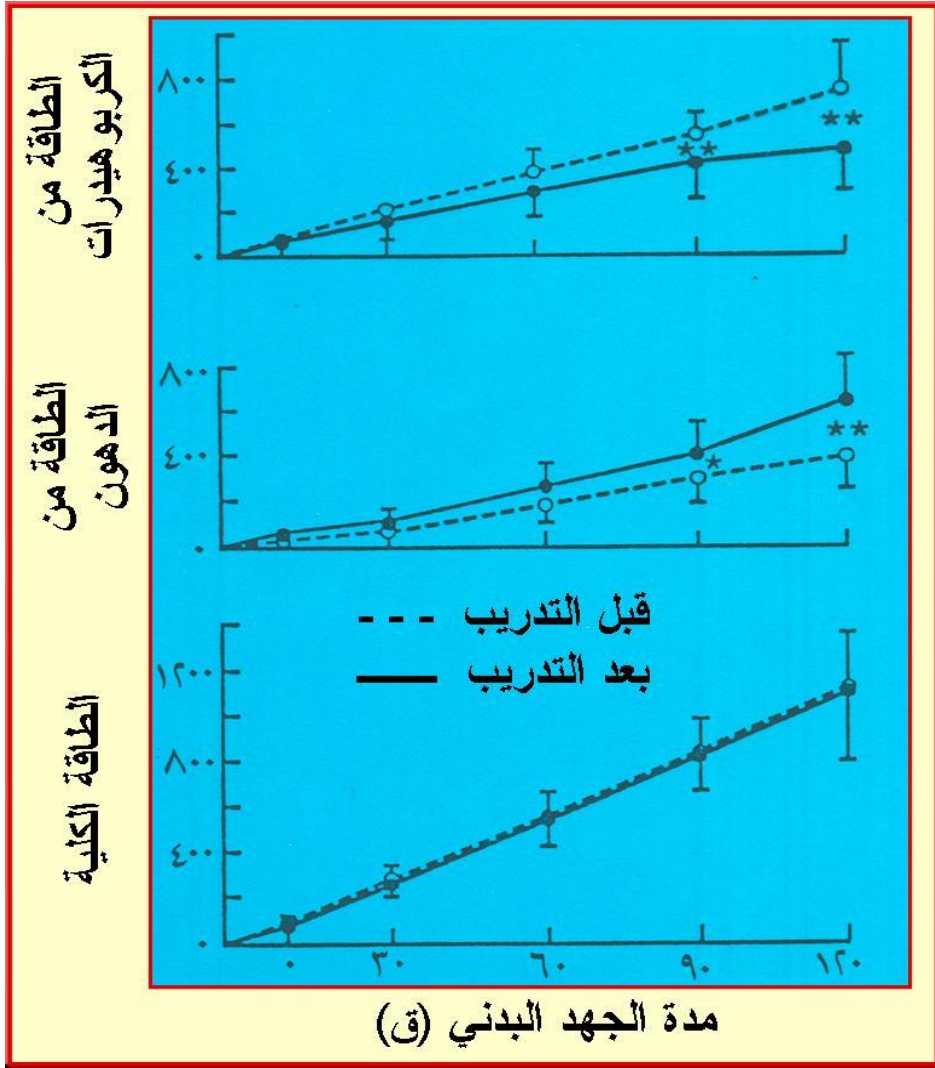
وتشير البحوث العلمية إلى أن استخدام جليكوجين العضلات يتناسب تناسباً طردياً مع شدة الجهد البدني، فعند شدة تساوى 70% من الاستهلاك الأقصى للأكسجين، نجد أن الجليكوجين يعد الوقود الرئيسي للعضلة، لكن أهمية جليكوجين العضلات تزداد بصورة أكبر عندما تقترب شدة الجهد البدني من الشدة القصوى، كما هو مبيناً في الشكل البياني رقم (4)، وفي الشدة القصوى يصبح استخدام جليكوجين العضلات هو المفضل من قبل العضلة.

ويعتقد أن العلاقة بين شدة الجهد البدني وزيادة استخدام جليكوجين العضلات مرده لعدة أسباب، من أهمها زيادة توظيف (استخدام) الألياف العضلية السريعة الخلجة (Fast twitch fibers) مع ارتفاع شدة الجهد البدني، والمعروف أن هذا النوع من الألياف العضلية يعتمد على الطاقة اللاهوائية بشكل أكبر من اعتماد الألياف العضلية البطيئة الخلجة عليها (Slow twitch fibers). ومن الأسباب الأخرى التي تفسر العلاقة بين ارتفاع شدة الجهد البدني وزيادة معدل استخدام جليكوجين العضلات هو زيادة التنبيه الهرموني مع اشتداد الجهد البدني، حيث يزداد تركيز كل من هرموني الإبينيفرين والنورإبينيفرين مع ارتفاع شدة الجهد البدني، الأمر الذي يساعد على تحفيز عملية التحلل الجليكوجيني (Glycogenolysis) في داخل العضلة. ومن المعروف أيضاً إنه في الشدة المرتفعة من الجهد البدني فإن استخدام الجليكوجين يعد أكثر كفاءة (أكثر اقتصادية) من استخدام الأحماض الدهنية في الحصول على طاقة حرارية بالكيلو سعر حراري مقابل استهلاك كل لتر واحد من الأكسجين.



شكل رقم (4): تزداد أهمية جليكوجين العضلات كوقود مع زيادة شدة الجهد البدني، وفي الشكل نلاحظ ازدياد مشاركة جليكوجين العضلات كوقود مع زيادة شدة الجهد البدني من 25% من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين إلى 85% منه، وفي الوقت نفسه انخفاض مشاركة الأحماض الدهنية. (المصدر: Romijin, et al, Am J Physiol (Endocrinol Metab), 1993)

ويؤدي التدريب البدني التحملي إلى تمكين الرياضي من الاعتماد أكثر على الدهون كوقود أثناء الجهد البدني التحملي كما في سباقات المسافات الطويلة والماراثون، مما يمكن الرياضي من استخدام جليكوجين العضلات لفترة أطول من السباق، وعدم استنفاده مبكراً، حين تكون الحاجة له أكبر في نهاية السباق عندما يكون على الرياضي زيادة سرعته وبالتالي الاعتماد أكثر على جليكوجين العضلات. ويوضح الشكل البياني رقم (5) رسماً لنسبة مشاركة كل من الكربوهيدرات والدهون كمصدرين للطاقة أثناء ساعتين من الجهد البدني التحملي قبل التدريب مقارنة بما يحدث بعد التدريب البدني، ويتبين بكل وضوح من الشكل أن التكيف الأيضي الناجم عن التدريب البدني قد أدى إلى زيادة نسبة مشاركة الدهون كوقود وخفض نسبة مشاركة الكربوهيدرات عند نفس الشدة من الجهد البدني، الأمر الذي يوفر من استخدام الكربوهيدرات (خاصة جليكوجين العضلات) وبالتالي يقود إلى تمكين الرياضي من استخدامها طوال فترة الجهد البدني التحملي.



شكل رقم (5): تأثير التدريب على نسبة استخدام الجسم لكل من الكربوهيدرات والدهون كوقود أثناء الجهد البدني التحملي (المصدر: Hurley, et al., JAP, 1986).

المصدر: الهزاع، هزاع محمد. كتاب فسيولوجيا الجهد البدني: الأسس النظرية والإجراءات المعملية للقياسات الفسيولوجية. الرياض: دار نشر جامعة الملك سعود، 1430هـ، 2009م (جزأين).