نام درس

محاسبه انرژی در تغذیه ورزشی

اشتری

کالری: واحد محاسبه ی انرژی

در اصطلاح تغذیه ای، 1 کالری بیان کننده ی مقدار گرمای لازم جهت افزایش دمای 1 کیلوگرم (1 لیتر) آب به میزان 1 درجه ی سانتی گراد (از 14.5 تا 15.5 درجه ی سانتی گراد) می باشد. به عنوان مثال 1 لیوان کره ی بادام زمینی که معادل 759 کیلوکالری می باشد به این معنی است که انرژی ناشی از سوختن آن می تواند دمای 759 لیتر آب را 1 درجه ی سانتی گراد افزایش دهد. ژول و کیلوژول واحدهای دیگر انرژی می باشند که بیان کننده ی واحد بین المللی (SI unit) انرژی می باشند (1). در جدول زیر نحوه ی تبدیل این واحد ها به هم آورده شده است (2).

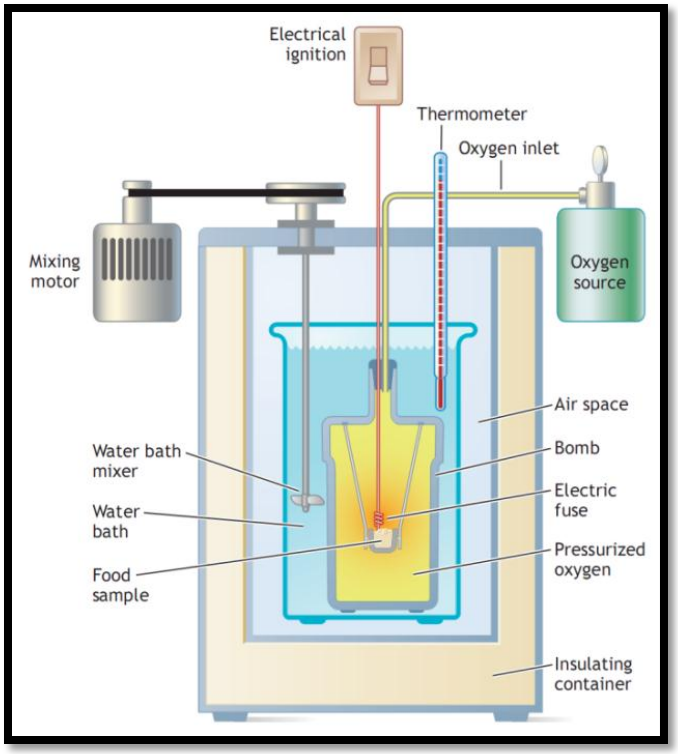
جدول 1. تبدیل واحدهای گوناگون انرژی

4.2 ژول (J)	=	1 کالری (cal)
4.2 کیلوژول (kJ)	=	1 کیلو کالری (kcal)
1000 کالری (cal)	=	1 کیلو کالری (kcal)
1000 ژول (J)	=	1 کیلوژول (kJ)

ارزش ناخالص انرژی مواد غذایی

آزمایشگاه ها از بمب کالری متر برای اندازه گیری گرمای ناشی از از سوختن ماکرونترینت (درشت مغذی) های مواد غذایی گوناگون استفاده می کنند. اساس بمب کالری متر بر مبنای کالریمتری (محاسبه انرژی) مستقیم از طریق محاسبه ی گرمای آزاد شده ناشی از سوختن کامل ماده ی غذایی می باشد (شکل 1).

همان گونه که در شکل 1 نشان داده شده است ماده ی غذایی در یک محفظه کاملا درزگیری شده به همراه اکسیژن با فشار بالا قرار دارد. جریان الکتریسیته از طریق فیوز به به ماده ی غذایی رسیده و از طریق ترکیب اکسیژن ماده ی غذایی شروع به سوختن می کند. همزمان با سوختن ماده ی غذایی، آب احاطه شده در اطراف بمب، حرارت یا انرژی آزاد شده را جذب می کند. کالریمتر به طور کامل از محیط خارج ایزوله (عایق) شده است، در نتیجه افزایش درجه حرارت آب به طور مستقیم منعکس کننده ی گرمای رها شده هنگام "اکسیداسیون" یا "سوختن" ماده ی غذایی می باشد.



شکل 1. بمب کالریمتر که به طور مستقیم ارزش انرژی مواد غذایی را اندازه گیری می کند

کالریمتری کربوهیدرات ها

گرمای سوختن کربوهیدرات ها بسته به آرایش اتم ها در مولکول کربوهیدرات بستگی دارد. برای گلوکز، گرمای سوختن برابر 3.74 کیلوکالری به ازای هر گرم گلوکز می باشد که حدود 12٪ کمتر از گلیکوژن (4.19 کیلوکالری) و نشاسته (4.20 کیلوکالری) می باشد. به طور کلی، 4.2 کیلوکالری نشان دهنده ی گرمای متوسط سوختن برای 1 گرم کربوهیدرات می باشد.

کالریمتری چربی ها

گرمای سوختن برای چربی ها با توجه به ترکیب ساختاری اسیدهای چرب موجود در مولکول های تری اسیل گلیسرول (تری گلیسرید) متفاوت است. به عنوان مثال، 1 گرم از گوشت گاو و یا خوک برابر 9.50 کیلوکالری می باشد؛ درحالی که اکسیداسیون 1 گرم کره 9.27 کیلوکالری انرژی آزاد می کند. میانگین ارزش انرژی برای 1 گرم چربی گوشت، ماهی و تخم مرغ برابر 9.50 کیلوکالری است. مقدار معادل انرژی به ازای هر گرم چربی در محصولات لبنی برابر 9.25 کیلوکالری و برای سبزیجات و میوه جات معادل 9.30 کیلوکالری می باشد. میانگین گرمای سوختن برای چربی ها 9.4 کیلوکالری به ازای 1 گرم چربی می باشد.

کالریمتری پروتیین ها

دو عامل بر انرژی آزاد شده از سوختن پروتیین ها تاثیر می گزارد: 1. نوع پروتیین موجود در ماده ی غذایی 2. محتوای نسبی نیتروژن در پروتیین. پروتیین های رایج موجود در تخم مرغ ها، گوشت، ذرت (بلال) و انواع لوبیا (باقلا سبز، لوبیا لیما، لوبیا سفید، لوبیای سویا و ...) تقریبا حاوی 16٪ نیتروژن می باشد و گرمای تولیدی ناشی از احتراق 1 گرم از این پروتیین ها به طور متوسط حدود 5.7 کیلوکالری می باشد. لازم به ذکر است پروتیین ها در برخی مواد غذایی دیگر محتوای نیتروژنی بالاتری دارند. به عنوان مثال اغلب آجیل ها و دانه ها (seeds) حاوی 18.9٪ نیتروژن و گندم کامل، چاودار، ارزن و جو حاوی 17.2٪ نیتروژن می باشند. سایر مواد غذایی حاوی درصد نیتروژن کم کمتر می باشند؛ به عنوان مثال، شیر کامل حاوی 15.7٪ و سبوس حاوی 15.8٪ می باشد. گرمای سوختن پروتیین ها به طور میانگین 5.65 کیلوکالری به ازای 1 گرم می باشد (با فرض میانگین محتوای نیتروژن 16٪).

ارزش انرژی خالص مواد غذایی

آنچه که در بالا گفته شد و اعداد ذکر شده مربوط به انرژی به دست آمده از 1 گرم از ماکرونوترینت های مختلف در شرایط آزمایشگاهی و توسط بمب کالریمتر می باشد. اما سوال مهم این است که آیا مقدار انرژی به دست آمده و مصرف شده در بدن ما با مقدار انرژی به دست آمده توسط بمب کالریمتر یکسان است یا خیر؟

میان ارزش انرژی مواد غذایی، زمانی که گرمای آزاد شده ناشی از سوختن به روش کالریمتری مستقیم (ارزش ناخالص انرژی)، و ارزش خالص انرژی که عملا در بدن در دسترس هست مقایسه می کنیم تفاوت وجود دارد. این تفاوت مخصوصا بیشتر برای پروتیین وجود دارد زیرا بدن نمی تواند بخش نیتروژن آن را اکسیده کند. در عوض، اتم های نیتروژن به هیدروژن متصل شده و اوره (NH_2CONH_2) را برای دفع ادراری به وجود می آورند. حذف هیدروژن به این طریق از دست رفتن حدود 19٪ از انرژی بالقوه ی مولکول های پروتیین را نشان می دهد. این از دست دادن هیدروژن حرارت تولیدی ناشی از سوختن پروتیین را از 5.65 کیلوکالری به ازای هر گرم پروتیین حین اکسیداسیون در بمب کالریمتر به 4.6 کیلوکالری به ازای هر گرم در بدن کاهش می دهد. 4.6 به طریق زیر محاسبه دشه است:

تفاوت میان انرژی به دست آمده از بمب کالیمتر و بدن 81٪ می باشد:

100% - 19% = 81%

بر اساس آنچه گفته شد، حرارت تولیدی ناشی از سوختن پروتیین حین اکسیداسیون در بمب کالریمتر 5.65 کیلوکالری به ازای هر گرم پروتیین می باشد. بنابراین 81٪ آن تقریبا معادل 4.6 می باشد:

5.65 X 81% = 4.5765 ≈4.6

در مقابل، ارزش سوخت فیزیولوژیک یکسان برای کربوهیدرات ها و لیپیدها (که فاقد نیتروژن می باشند) در مقایسه با آنچه در بمب کالریمتر به دست می آید برابر است (که به طور میانگین 4.2 کیلوکالری به ازای 1 گرم کربوهیدرات و 9.4 کیلوکالری به ازای 1 گرم چربی می باشد).

ضریب قابلیت هضم

کارایی فرآیند هضم بر کالری نهایی به دست آمده از ماکرونوترینت تاثیر می گذارد. از لحاظ عددی، ضریب قابلیت هضم نشان دهنده ی درصد هضم و جذب ماده ی غذایی می باشد که نشان دهنده ی میزانی می باشد که در اختیار نیازهای متابولیک بدن می رسد.

مواد غذایی جذب نشده در دستگاه گوارش مدفوع را تشکیل می دهند. فیبر غذایی ضریب قابلیت هضم را کاهش می دهد. به همین دلیل یک غذای با فیبر بالا انرژی کل کمتری را نسبت به یک غذای بدون فیبر با محتوای کالری یکسان جذب می کند. این تفاوت به این دلیل رخ می دهد که فیبر سرعت حرکت مواد غذایی را در روده افزایش داده، بنابراین زمان جذب کاهش می یابد. فیبر همچنین ممکن است موجب فرسایش (erosion) مخاط روده گردد و بنابراین باعث ایجاد فرآیندهای سنتز دوباره مخاط می گردد که خود این فرآیندها با صرف انرژی رخ می دهد. برخی از طرفداران ترویج استفاده از سبزیجات در رژیم های غذایی کاهش وزن به دلیل ضریب قابلیت هضم نسبتا پایین برای پروتیین های گیاهی می باشد. از سویی دیگر، به دلیل افزایش سرعت حرکت مواد غذایی در روده توسط رژیم های پر فیبر، کسانی که در رژیم غذایی گیاهخواران می باشند بایستی منابع غذایی پروتیینی کافی و متنوع مصرف کنند تا بتوانند تمام آمینو اسید های ضروری را به دست آورند. اثر ضریب قابلیت جذب به طور خلاصه و به صورت عددی در جدول شماره 2 آورده شده است.

جدول 2. فاکتورهای قابلیت هضم، گرمای تولیدی ناشی از سوختن و ارزش خالص انرژی فیزیولوژیک برای پروتیین، چربی و کربوهیدرات رژیمی

گروه غذایی	قابلیت جذب* (٪)	گرمای ناشی از سوختن** (کیلوکالری به ازای 1 گرم)	انرژی خالص*** (کیلوکالری به ازای 1 گرم)
پروتیین			
گوشت قرمز، ماهی	97	5.65	4.27
تخم مرغ	97	5.75	4.37
لبنیات	97	5.65	4.27
مواد غذایی حیوانی (میانگین)	97	5.65	4.27
غلات	85	5.80	3.87
حبوبات	78	5.70	3.47
سبزیجات	83	5.00	3.11
میوه جات	85	5.20	3.36
مواد غذایی گیاهی (میانگین)	85	5.65	3.74
پروتیین کل (میانگین)	**92**	**5.65**	**4.05**
چربی			
گوشت قرمز و تخم مرغ	95	9.50	9.03
لبنیات	95	9.25	8.79
مواد غذایی حیوانی	95	9.40	8.93
مواد غذایی گیاهی	90	9.30	8.37
چربی کل (میانگین)	**95**	**9.40**	**8.93**
کربوهیدرات			
مواد غذایی حیوانی	98	3.90	3.82
غلات	98	4.20	3.11
حبوبات	97	4.20	4.07
سبزیجات	95	4.20	3.99
میوه جات	90	4.00	3.60
شیرینیجات (sugars)	98	3.95	3.87
مواد غذایی گیاهی	97	4.15	4.03
کربوهیدرات کل (میانگین)	**97**	**4.15**	**4.03**

* همانطور که در جول نشان داده شده است، در تمام مواد غذایی و ماکرونوترینت ها ضریب قابلیت جذب در ترکیبات با منبع حیوانی بالاتر از مواد غذایی با منشا گیاهی می باشد و این یه دلیل محتوای بالای فیبر در مواد غذایی گیاهی می باشد.

** اعداد ذکر شده در ستون "گرمای ناشی از سوختن" در واقع عدد به دست آمده در محیط آزمایشگاهی و توسط بمب کالیمتر می باشد.

*** اعداد ذکر شده در ستون "انرژی خالص" برای چربی و کربوهیدرات از طریق ضرب عدد ستون اول (قابلیت هضم) در ستون دوم (گرمای ناشی از سوختن) به دست می آید اما برای پروتیین علاوه بر این ضرب بایستی محتوی نیتروژنی نیز در نظر گرفت.

همانطور که در جدول اشاره شده است، میانگین انرژی به دست آمده از 1 گرم درشت مغذی ها برای پروتیین، چربی و کربوهیدرات به ترتیب 4.05، 8.93 و 4.03 می باشد. در کتب تغذیه ای مختلف برای راحتی محاسبه این اعداد را رند کرده و به صورت جدول زیر ارائه می کنند.

درشت مغذی	انرژی (کیلوکالری به ازای 1 گرم)
کربوهیدرات	4
چربی	9
پروتیین	4

جدول 3. انرژی خالص انرژی از ماکرونوترینت های موجود در مواد غذایی

با توجه به توضیحات گذشته این نکته مبرهن است که اگچه در تقریبا تمامی کتب تغذیه ای اعداد ذکر شده در جدول شماره 3 به عنوان میزان انرژی ماکرونوترینت ها عنوان می شود اما اکنون می دانیم که این اعداد در واقع میانگینی از منابع غذایی مختلف می باشد و به طور کلی این اعداد برای منابع حیوانی اندکی بالاتر و برای منابع گیاهی اندکی کمتر از اعداد ذکر شده می باشد. به عنوان مثال، اگر چه انرژی تمامی چربی ها و روغن ها، چه حیوانی (مانند دمبه، چربی لبنیات و ...) و چه گیاهی (مانند روغن زیتون، آفتاب گردان و ...) 9 کیلوکالری به ازای هر گرم محاسبه می شود، اما عملا کالری چربی ها و روغن های گوناگون با هم یکسان نیست و تفاوت اندک دارد.

اگرچه هر گرم الکل حاوی 7 کیلوکالری به ازای هر گرم می باشد و می تواند به عنوان منبعی از انرژی مورد استفاده قرار گیرد، اما از آنجایی که با رشد، نگهداری و ترمیم بدن تداخل دارد جز مواد مغذی محسوب نمی شود. در مورد محاسبه انرژی ناشی از مشروبات الکلی و اثرات آن در ادامه به تفصیل بحث خواهیم کرد.

روش محاسبه ی ارزش انرژی مواد غذایی بر اساس ترکیب ماکرونوترینت های آن

در صنایع غذایی معمولا از بمب کالریمتر جهت اندازه گیری محتوای انرژی ماده ی غذایی استفاده نمی شود. شرکت های تولید کننده ی مواد غذایی ترجیح می دهند که از روش ساده تر و ارزان تری جهت محاسبه ی کالری استفاده کنند. از این رو معمولا از طریق روش های ساده تر ابتدا میزان ماکرونوترینت ها را اندازه گیری کرده و با توجه به اعداد ذکر شده در جدول 3 محتوای انرژی ماده ی غذایی را از طریق ضرب و جمع جبری محاسبه می کنند. به عنوان مثال شرکت لبنیاتی بستنی شکلاتی را تولید کرده و در صدد محاسبه ی ارزش خالص انرژی آن است. ابتدا محتوی کربوهیدرات، چربی و پروتیین را محاسبه می کنند:

	ترکیب درشت مغذی*		
	کربوهیدرات	چربی	پروتیین
درصد	٪23	٪18	٪3
گرم در 100 گرم	23	18	3
کیلو کالری در 100 گرم	23 x 4 = 92	18 x 9 = 162	3 x 4 = 12
مجموع ارزش خالص انرژی	12 + 162 + 92 = 266		

جدول 4. محاسبه ی ارزش خالص انرژی 100 گرم بستنی شکلاتی

* ٪56 ترکیب این بستنی شکلاتی را آب تشکیل می هد.

کالری برابر کالری است

1 کالری نشان دهنده ی انرژی مواد غذایی صرف نظر از منبع ماده ی غذایی می باشد. از نقطه نظر انرژی، 100 کیلوکالری برگرفته از سس مایونز با 100 کیلوکالری از 20 ساقه ی کرفس برابر است یا 100 کیلوکالری از بستنی شکلاتی همچنان معادل 100 کیلوکالری بر گرفته از ساقه مارچوبه است. به همین ترتیب 1 برگر (Guacamole Bacon Six Dollar Burger) برابر 208 ساقه ی کرفس می باشد!

شکل 2. محتوای انرژی 1 برگر (Guacamole Bacon Six Dollar Burger) ساقه ی کرفس می باشد!

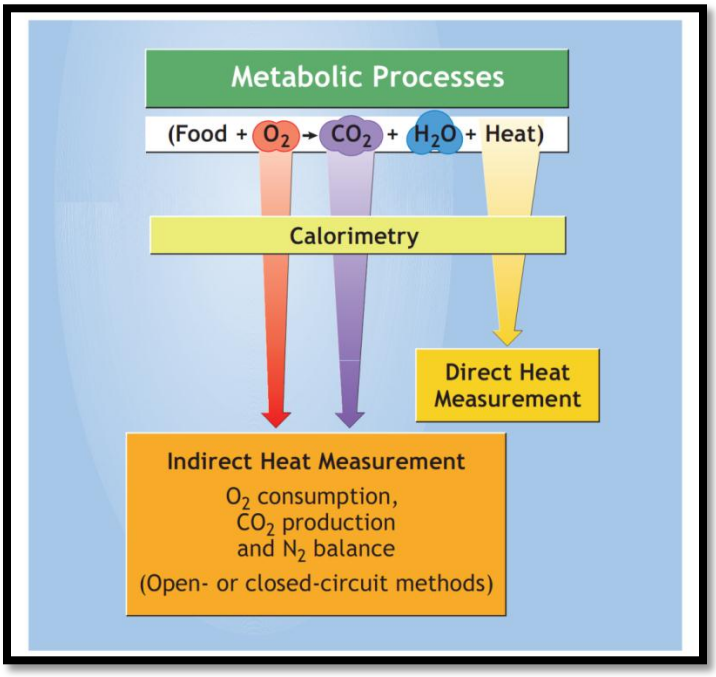
اگر چه از نقطه نظر انرژی فارغ از نوع غذا 1 کالری معادل 1 کالری است، اما آیا واقعا این مقوله در فرآیندهای متابولیکی نیز صدق می کند؟ پاسخ این سوال با شرح اثر حرارتی غذا مشخص می گردد. اثر حرارتی غذا (TEF) یا حرارات زایی ناشی از رژیم غذایی، انرژی مورد نیاز جهت خوردن، هضم، جذب، انتقال و متابولیزه کردن ماده ی غذایی و ذخیره ی انرژی ناشی از آن می باشد. به بیان ساده تر نشان دهنده ی انرژی مصرفی ناشی از خوردن مواد غذایی و استفاده از آن می باشد. اثر حرارتی بدن معمولا 10 درصد از کل انرژی روزانه را شامل می شود.

TEF با توجه ترکیب رژیم غذایی متفاوت است. به این ترتیب که انرژی مصرفی مخصوصا بعد از خوردن غذای پر پروتیین در مقایسه با غذای پر چرب به مقدار بالاتری افزایش می یابد که این به دلیل TEF بالاتر غذاهای پر پروتیین است. از سویی دیگر، چربی با کارایی بالاتری و تنها با 4٪ اتلاف به صورت چربی ذخیره می شود؛ در مقایسه کربوهیدرات با 25٪ اتلاف به چربی تبدیل شده و ذخیره می گردد. این عوامل ماهیت چربی رژیمی به عنوان یک فاکتور پیش روندگی چاقی را نشان می دهد. با توجه به آنچه ذکر شد، اگر چه از لحاظ علم فیزیک، کالری معادل کالری است اما از نظر فیزیولوژیکی و تغییرات وزن رژیم غذایی 2000 کیلوکالری با چربی بسیار بالا با رژیم غذایی 2000 کیلوکالری با چربی بسیار پایین متفاوت است. به بیان دیگر اگرچه کالری 1 برگر (Guacamole Bacon Six Dollar Burger) برابر 208 ساقه ی کرفس می باشد اما به دلیل تفاوت در TEF این دو ماده ی غذایی (TEF بالاتر کرفس) و تمایل بیشتر برگر به ذخیره شدن به صورت چربی (به دلیل چربی بسیار بالاتر نسبت به ساقه کرفس) عملا اثرات یکسانی در بدن ندارند.

اندازه گیری انرژی مصرفی (energy expenditure) انسان

انرژی آزاد شده توسط بدن

همه ی فرآیندهای متابولیکی بدن در نهایت باعث تولید گرما می شوند. بنابراین، میزان گرمای تولیدی توسط سلول ها، بافت ها و یا حتی کل بدن عملا به عنوان میزان متابولیسم انرژی تعریف می شود. کالری نشان دهنده ی واحد اصلی اندازه گیری گرما و اصطلاح کالریمتری به عنوان اندازه گیری انتقال گرما تعریف می گردد. کالریمتری مستقیم و کالریمتری غیر مستقیم که در شکل 1 به تصویر کشیده شده اند، دو روش متفاوت اندازه گیری می باشند که به دقت و به صورت کمی (عددی) انرژی تولید شده توسط بدن هنگام استراحت و فعالیت فیزیکی بیان می کنند.

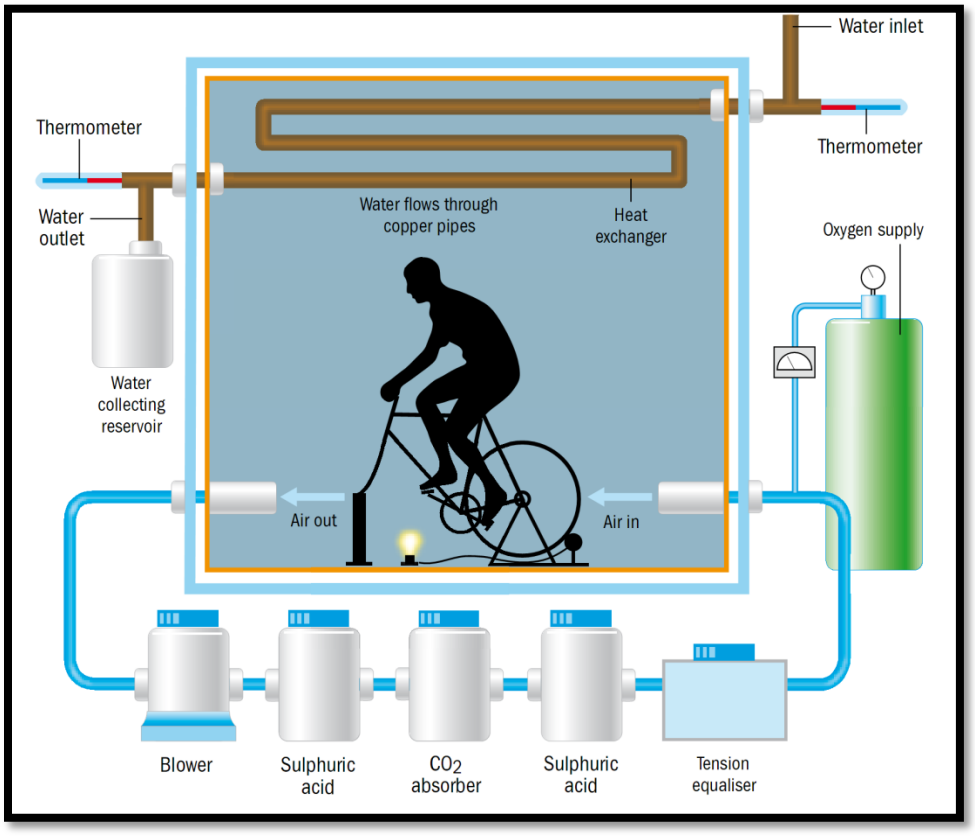


شکل 3. اندازه گیری میزان گرمای تولیدی بدن یک ارزیابی مستقیم از میزان متابولیسم می باشد. گرمای تولید شده (میزان متابولیسم) می تواند به طور غیر مستقیم از طریق اندازه گیری تبادل گازهای کربن دی اکسید (CO_2) و اکسیژن (O_2) حین تجزیه ماکرونوترینت های غذا و دفع نیتروژن تخمین زده شود.

کالریمتری مستقیم

گرما بیان کننده ی سرنوشت نهایی تمام فرآیندهای متابولیکی بدن است. آزمایشات اولیه شیمیدان فرانسوی آنتوان لاوازیه (1743-1794) و معاصران او در سال های دهه ی 1770 انگیزه ی اندازه گگیری مستقیم انرژی مصرفی هنگام استراحت و فعالیت فیزیکی را به وجود آورد. این ایده مشابه آن چیزی است که در بمب کالریمتر مورد استفاده قرار می گیرد و روشی مناسب و دقیق جهت اندازه گیری مستقیم گرمای تولیدی در انسان می باشد.

کالریمتری انسان در شکل 2 به تصویر کشیده شده است که شامل یک محفظه ی غیر قابل نفوذ به هوا با یک مخزن اکسیژن که در آن یک فرد زندگی کرده و به مدت نسبتا طولانی کار می کند. مقدار مشخص آب در دمای معین از طریق یک سری لوله مارپیچ در بالای اتاقک در گردش می باشد. آب، گرمای تولید شده و انتشار یافته توسط فردی که درون کالیمتر قرار دارد را جذب می کند. اطراف کل محفظه عایق کاری وجود دارد، بنابراین هر گونه تغییر در دمای آب به طور مستقیم به انرژی متابولیسم فرد مربوط می باشد.



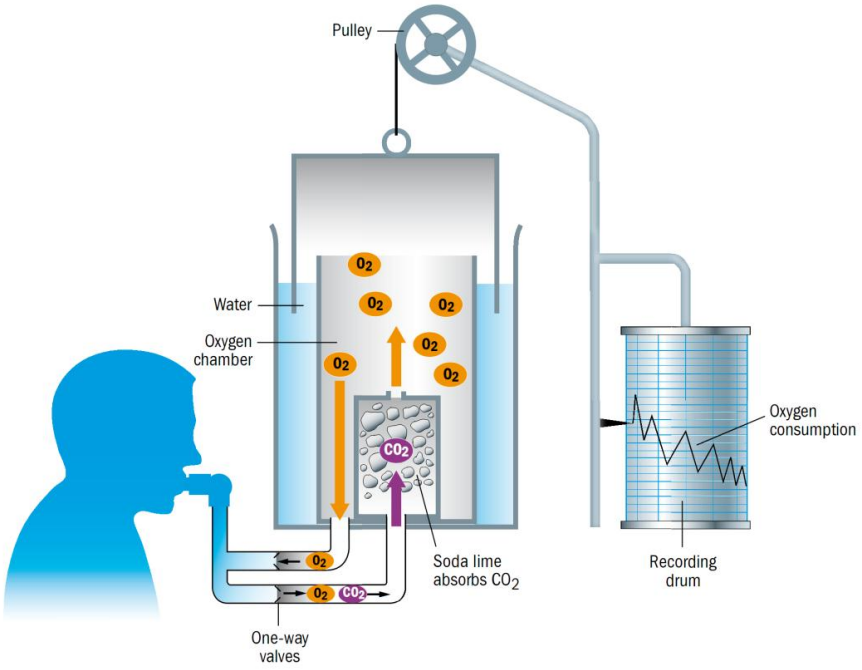
شکل 4. یک کالریمتر انسانی به طور مستقیم متابولیسم (گرمای تولیدی) را اندازه گیری می کند. آب از طریق لوله های ساخته شده از ورقه های نازک مسی که مبادله کننده ی گرما می باشند در بالای اتاقک وجود دارد. آب سرد شده در دمای 2 درجه سانتی گراد با میزان جریان بالا، به سرعت گرمای انتشار یافته از فرد حین ورزش را جذب می کند. هنگام استراحت فرد، آب گرمتر با به میزان جریان آهسته تری حرکت

می کند. در دوچرخه سواری ارگومتر که به صورت شماتیک در شکل مشاهده می کنید، چرخ عقب به محور یک ژنراتور که به یک حباب لامپ نیرو میدهد متصل است. در نسخه بعد از ارگومتر، بخشی از چرخ عقب از مس ساخته شده است. با چرخش چرخ عقب، میدان الکترومغناطیسی شکل گرفته تولید یک جریان الکتریکی کرده تا به دقت قدرت خروجی نیرو را تعیین کند (و اثر گرمای تولیدی توسط فعالیت دوچرخه سواری را به حداقل برساند).

برای تهویه ی کافی، هوای بازدم فرد به طور مستمر از طریق مواد شمیایی که باعث حذف رطوبت و کربن دی اکسید از اتاق می شود عبور می کند. اکسیژن اضافه شده به هوا دوباره به سرتاسر اتاقک به گردش در می آید. اندازه گیری مستقیم تولید گرما در انسان بیشتر مفهوم تئوری دارد و هنوز کاربرد آن محدود می باشد. اندازه گیری دقیق گرمای تولیدی در کالریمتر نیازمند زمان و هزینه قابل توجه و متخصصین مهندسی توانمند می باشد. بنابراین استفاده از کالریمتر همچنان برای محاسبه ی انرژی در اکثر فعالیت های ورزشی، شغلی و تفریحی غیر عملی می باشد. روش آن هم توسط محدود بودن شرایط انجام تست محدود شده است. از این رو اندازه گیری انرژی مصرفی کل با استفاده از این روش در شرایطی که بیانگر زندگی آزاد (به عنوان مثال انجام فعالیت های عادی روزمره) در محیط نرمال می باشد صورت نمی گیرد زیرا فعالیت فیزیکی در درون اتاقک محدود می باشد. هزینه ی بالا، مهندسی پیچیده و کمبود امکانان مناسب در سراسر جهان نیز استفاده از این روش را محدود کرده است.

کالریمتری غیر مستقیم

تمام واکنش های آزاد کننده ی انرژی در بدن نهایتا وابسته به مصرف اکسیژن می باشند. اندازه گیری اکسیژن مصرفی فرد، روشی غیر مستقیم و البته دقیق جهت تخمین انرژی مصرفی فراهم می کند. کالریمتری غیر مستقیم از لحاظ اجرا نسبتا ساده و با هزینه کمتری جهت نگهداری می باشد و نیازمند نیروی کار کمتری نسبت به کالریمتری مستقیم است.



شکل 5. اسپیرومتری مدار بسته

شکل 5 روش اسپیرومتری (تنفس سنجی) مدار بسته را نشان می دهد که در اواخر صده ی 1800 میلادی طراحی و تولید شده است و هنوز هم در بیمارستان ها و برخی از آزمایشگاه های اختصاص داده شده به تحقیقات تغذیه انسانی به منظور تخمین انرژی مصرفی در حال استراحت (REE) مورد استفاده قرار می گیرد. فرد مورد نظر اکسیژن 100٪ را از طریق یک محفظه که اسپیرومتر نامیده می شود تنفس می کند. دستگاه شامل یک "سیستم بسته" می باشد زیرا فرد تنها گاز موجود در اسپیرومتر را دوباره تنفس می کند. یک مخزن آهک سود دار یا soda lime (پتاسیم هیدروکسید) در مدار تنفسی کربن دی اکسید موجود در هوای بازدمی را جذب می کند.

ظرف استوانه ای که به اسپیرومتر متصل می باشد با سرعت مشخصی به گردش آمده و اکسیژن مصرفی را از طریق تغییرات حجم سیستم ثبت می کند. اندازه گیری اکسیژن مصرفی توسط اسپیرومتری مدار بسته هنگام ورزش مشکل ساز می باشد. فرد بایستی نزدیک به دستگاه حجیمی قرار گرفته باشد و از سویی دیگر توان دستگاه در مقابل حجم بالای تنفس حین ورزش قابل توجه است و هنگام ورزش شدید سرعت حذف کربن دی اکسید ناکافی می باشد. به این دلایل جهت اندازه گیری اکسیژن مصرفی هنگام ورزش، اسپیرومتری مدار باز به طور کسترده مورد استفاده قرار می گیرد.

اسپیرومتری مدار باز

توسط اسپیرومتری مدار باز فرد هوای محیط را با ترکیبی ثابتی از 20.93٪ اکسیژن، 0.03٪ کربن دی اکسید و 79.04٪ نیتروژن استنشاق می کند. قسمت نیتروژن همچنین شامل مقدار کمی از گازهای بی اثر (مانند 0.93٪ آرگون، 0.00011٪ کریپتون و 0.0000087٪ زنون) می باشد. تغییرات درصد اکسیژن و کربن دی اکسید در هوای بازدمی در مقایسه با هوای محیط به طور غیر مستقیمی منعکس کننده ی روند متابولیسم انرژی در حال انجام می باشد. بنابراین، آنالیز این دو فاکتور (حجم هوای تنفس شده طی یک دوره ی زمانی خاص و ترکیب هوای بازدمی) راه مفیدی برای اندازه گیری مصرف اکسیژن و تخمین انرژی مصرفی می باشد.

5 روش رایج کالریمتری غیر مستقیم که اکسیژن مصرفی را در شرایط مختلف اندازه گیری می کنند:

1. **اسپیرومتری قابل حمل:** سیستم های جمع آوری کننده ی متابولیک قابل حمل از آخرین تکنولوژی کامپیوترهای کوچک استفاده می کنند. سلول های آنالیز کننده اکسیژن و کربن دی اکسید همراه با یک میکرو جریان سنج بسیار حساس اکسیژن مصرفی را توسط روش مدار باز هنگام فعالیت های مختلف مانند اسکیت سواری (A)، دویدن (B) و دوچرخه سواری (C) اندازه گیری می کند.

شکل 6. اسپیرومتری قابل حمل هنگام فعالیت های مختلف مانند اسکیت سواری (A)، دویدن (B) و دوچرخه سواری (C)

2. **روش کیسه ای:** که اکسیژن مصرفی توسط اسپیرومتری مدار باز هنگام ورزش های آبی مانند کرال سینه را اندازه گیری می کند.
3. **روش هود تهویه**
4. **روش کامپیوتری**
5. **روش آب دو بار نشان دار شده**

شکل 7. کالریمتری غیر مستقیم از طریق روش کیسه ای (چپ) و روش هود تهویه (راست)

ضریب تنفسی

تحقیقات در اوایل قرن 19 از طریق اندازه گیری تبادل گازی شش ها، راه ارزیابی متابولیسم بدن را هنگام ورزش کشف کردند. اکسیداسیون کامل اتم های کربن و هیدروژن به محصولات نهایی یعنی مولکول های کربن دی اکسید و آب نیازمند مقادیر مختلف اکسیژن می باشد. بنابراین، مواد متابولیزه شده (خواه کربوهیدرات، چربی و یا پروتیین) مقدار کربن دی اکسید تولیدی نسبت به اکسیژن مصرفی را تعیین می کنند. منظور از ضریب تنفسی (RQ) نسبت تبادل گازهای متابولیک به شرح زیر می باشد:

$$RQ = \frac{\text{} CO_2 \text{ تولیدی (بازدمی)}}{O_2 \text{ مصرفی (دمی)}}$$

ضریب تنفسی برای کربوهیدرات

اکسیداسیون کامل یک مولکول گلوکز نیاز به شش مولکول اکسیژن و تولید شش مولکول کربن دی اکسید و آب و به شرح زیر می باشد:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$$

تبادل گاز هنگام اکسیداسیون گلوکز تعداد مولکول کربن دی اکسید تولیدی برابر با تعداد مولکول اکسیژن مصرفی می باشد. بنابراین، RQ برای کربوهیدرات برابر 1 می باشد.

$$RQ = \mathbf{6}\ CO_2 \div \mathbf{6}\ O_2 = 1.00$$

ضریب تنفسی برای لیپید

ترکیب شیمیایی لیپیدها نسبت به کربوهیدرات متفاوت است. چربی ها به طور قابل توجهی حاوی اتم های اکسیژن کمتری نسبت به اتم های کربن و هیدروژن می باشند. نسبت هیدروژن به اکسیژن در کربوهیدرات 2 به 1 و مشابه این نسبت در آب می باشد، در حالی که این نسبت در اسیدهای چرب بالاتر است. در نتیجه، کاتابولیزه شدن چربی برای تولید انرژی به طور قابل توجهی نیاز به اکسیژن مصرفی بیشتری نسبت به کربن دی اکسید تولیدی می باشد.

پالمیتیک اسید، یک نمونه اسیدچرب می باشد که به کربن دی اکسید و آب اکسیده می شود. این واکنش اولید 16 مولکول کربن دی اکسید به ازای هر 23 مولکول اکسیژن مصرفی می کند. معادله زیر خلاصه ی این تبادل جهت محاسبه ی RQ می باشد:

$$C_{16}H_{32}O_2 + 23\ O_2 \rightarrow 16\ CO_2 + 16\ H_2O$$

$$RQ = \mathbf{16}\ CO_2 \div \mathbf{23}\ O_2 = 0.696$$

به طور کلی، عدد 0.7 نشادن دهنده ی RQ برای لیپیدها می باشد که می تواند بین رنج 0.69 و 0.73 متغیر باشد. این عدد بستگی به طول زنجیره کربنی اسید چرب اکسیده شده دارد.

ضریب تنفسی برای پروتیین

پروتیین ها طی متابولیسم انرژی به سادگی به کربن دی اکسید و آب اکسیده نمی شوند. در عوض، ابتدا کبد مولکول آمینواسید را دآمینه (deaminate) می کند (منظور از دآمینه کردن یعنی حذف مولکول نیتروژن دار "آمین" یا NH_3– از مولکول آمینو اسید می باشد که به این فرآیند دآمیناسیون deamination گویند). بدن بخش نیتروژن و گوگرد را به ادرار، عرق و مدفوع دفع می کند. کتواسید (کتواسید ترکیب باقیمانده از دآمیناسیون آمینو اسیدها می باشد به بیان دیگر آمینو اسید بدون گروه آمین را کتواسید گویند)، قطعه ی باقیمانده می باشد که سپس به کربن دی اکسید و آب اکسیده شده و تولید انرژی جهت اعمال بیولوژیک می کند. این زنجیره کوتاه کتواسید، مانند آنچه در کاتابولیسم چربی گفته شد، به اکسیژن بیشتری نسبت به کربن دی اکسید تولیدی برای رسیدن به سوختن کامل می باشد. پروتیین آلبومین به شرح زیر اکسیده می شود:

$$C_{72}H_{11}N_2O_{22}S + 77\ O_2 \rightarrow 63\ CO_2 + 38\ H_2O + SO_3 + 9\ CO(NH_2)_2$$

$$RQ = 63\ CO_2 \div 77\ O_2 = 0.818$$

0.82 مشخصه ی عدد عمومی برای RQ پروتیین می باشد.

تخمین انرژی مصرفی با استفاده از روش Weir

در سال 1949، J. B. Weir، پزشک و فیزیولوژیست اسکاتلندی از دانشگاه گلاسکو، یک روش ساده اما بسیار دقیق به منظور تخمین کالری مصرفی از طریق اندازه گیری تهویه ریوی و درصد اکسیژن بازدمی (خروجی) ارائه نمود. روش Weir، با دقت ±1٪ نسبت به روش RQ سنتی می باشد و به طور گسترده ای در تحقیقات بالینی مورد استفاده قرار می گیرد. Weir نشان داد که فرمول زیر در صورتی که تولید انرژی ناشی از تجزیه پروتیین به طور متوسط حدود 12.5٪ باشد، کالری مصرفی (kcal/min) را محاسبه می کند (درصدی که برای بیشتر افراد در شرایط معمولی منطقی می باشد).

$$kcal.min^{-1} = V_{E(STPD)} \times (1.044-[0.0499 \times \%O_{2E}])$$

$(1.044-[0.0499 \times \%O_{2E}])$ را به عنوان ضریب Weir می شناسند.

$V_{E(STPD)}$: بیان کننده ی تهویه بازدمی در دقیقه (تحت شرایط STPD که دما 0^oC، فشار 760 mmHg و در محیط با خشکی استاندارد می باشد.)

$\%O_{2E}$: بیان کننده ی درصد اکسیژن بازدمی می باشد.

مثال: هنگام دو آهسته با شدت یکنواخت در صورتی که تهویه بازدمی 50 لیتر در دقیقه و درصد اکسیژن بازدمی 16٪ باشد، انرژی مصرفی را از طریق روش Weir محاسبه کنید.

$$\begin{aligned}\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1} &= \dot{V}_{E(STPD)} \times (1.044 - [0.0499 \times \%O_{2E}]) \\ &= 50 \times (1.044 - [0.0499 \times 16.0]) \\ &= 50 \times 0.2456 \\ &= 12.3\end{aligned}$$

به بیان دیگر، طی هر دقیقه از این فعالیت ورزشی 12.3 کیلوکالری انرژی مصرف می شود.

ضریب تنفسی برای یک رژیم مخلوط

هنگام فعالیت هایی اعم از استراحت مطلق تا فعالیت ورزشی هوازی با شدت متوسط مانند پیاده روی و دو آهسته، RQ به ندرت منعکس کننده ی اکسیداسیون کربوهیدرات خالص یا چربی خالص می باشد. در عوض، متابولیسم ترکیبی از این دو درشت مغذی، با RQ ی بین 0.7 (RQ لیپید) و 1.00 (RQ کربوهیدرات) رخ می دهد. برای بسیاری از اهداف، ما RQ=0.82 ناشی از متابولیسم مخلوط 40٪ کربوهیدرات و 60٪ چربی فرض می کنیم.

اندازه گیری انرژی مصرفی از طریق ضریب تنفسی شامل 3 مرحله ی زیر می باشد:

1. محاسبه ی RQ: $RQ = Vco_2 \div Vo_2$
2. یافتن ارتباط RQ (ستون اول از سمت چپ) و معادل انرژی (ستون دوم از سمت چپ) با توجه به جدول زیر
3. محاسبه کالری مصرفی (kcal/min) طی فعالیت ورزشی از طریق فرمول زیر:

$kcal.min^{-1}$ = اکسیژن مصرفی ($L.min^{-1}$) x معادل انرژی ($kcal.L^{-1}$ of oxygen uptake)

Nonprotein RQ	kcal per L O_2	Percentage Kilocalories Derived from		Grams per L O_2	
		Carbohydrate	Lipid	Carbohydrate	Lipid
0.707	4.686	0.0	100.0	0.000	0.496
0.71	4.690	1.1	98.9	0.012	0.491
0.72	4.702	4.8	95.2	0.051	0.476
0.73	4.714	8.4	91.6	0.090	0.460
0.74	4.727	12.0	88.0	0.130	0.444
0.75	4.739	15.6	84.4	0.170	0.428
0.76	4.750	19.2	80.8	0.211	0.412
0.77	4.764	22.8	77.2	0.250	0.396
0.78	4.776	26.3	73.7	0.290	0.380
0.79	4.788	29.9	70.1	0.330	0.363
0.80	4.801	33.4	66.6	0.371	0.347
0.81	4.813	36.9	63.1	0.413	0.330
0.82	4.825	40.3	59.7	0.454	0.313
0.83	4.838	43.8	56.2	0.496	0.297
0.84	4.850	47.2	52.8	0.537	0.280
0.85	4.862	50.7	49.3	0.579	0.263
0.86	4.875	54.1	45.9	0.621	0.247
0.87	4.887	57.5	42.5	0.663	0.230
0.88	4.889	60.8	39.2	0.705	0.213
0.89	4.911	64.2	35.8	0.749	0.195
0.90	4.924	67.5	32.5	0.791	0.178
0.91	4.936	70.8	29.2	0.834	0.160
0.92	4.948	74.1	25.9	0.877	0.143
0.93	4.961	77.4	22.6	0.921	0.125
0.94	4.973	80.7	19.3	0.964	0.108
0.95	4.985	84.0	16.0	1.008	0.090
0.96	4.998	87.2	12.8	1.052	0.072
0.97	5.010	90.4	9.6	1.097	0.054
0.98	5.022	93.6	6.4	1.142	0.036
0.99	5.035	96.8	3.2	1.186	0.018
1.00	5.047	100.0	0.0	1.231	0.000

جدول 5. معادل انرژی اکسیژن برای RQ غیر پروتیینی و درصد انرژی و گرم کربوهیدرات و چربی مشتق شده برای تامین انرژی

در جدول بالا انرژی مصرفی به ازای هر لیتر اکسیژن مصرفی برای RQ های غیر پروتیینی مختلف ؛ از جمله درصد و گرم کربوهیدرات و چربی مورد استفاده برای انرژی ارائه شده است. عدد nonprotein در جدول به این معنی می باشد که که فرض می شود که مخلوط متابولیکی بدن تنها شامل کربوهیدرات و چربی می باشد. در جدول فوق، قسمت Percentage Kilocalories Derived from (ستون سوم و چهارم از سمت چپ)، نشان دهنده ی این نکته است که طی فعالیت ورزشی مورد نظر چند درصد از کالری مصرفی از کربوهیدرات و چند درصد از چربی می باشد.

مثال: فرض کنید اکسیژن مصرفی هنگام 30 دقیقه ورزش هوازی با شدت متوسط به طور متوسط 3.22 L/min با کربن دی اکسید تولیدی 2.78 L/min می باشد. حساب کنید:

1. RQ این فعالیت ورزشی کدام است؟
2. کالری انرژی مصرفی طی 30 دقیقه از این فعالیت هوازی چند kcal می باشد؟
3. بر اساس RQ غیر پروتیینی، طی این فعالیت ورزشی چند درصد از سوخت تمرین کربوهیدرات و چند درصد چربی می باشد؟

پاسخ 1. $RQ = Vco_2 \div Vo_2 = 2.78 \div 3.22 = 0.86$

پاسخ 2. با توجه به جدول قبل مشاهده می کنیم که RQ=0.86 در ستون دوم از سمت چپ چه عددی را به عنوان معادل انرژی نشان میدهد. معادل انرژی برای این RQ برابر 4.875 $kcal/LO_2$ می باشد. برای محاسبه کالری مصرفی (kcal/min) طی این فعالیت ورزشی از طریق فرمول زیر عمل می کنیم:

کالری مصرفی در یک دقیقه = اکسیژن مصرفی x معادل انرژی = 3.22 x 4.875= 15.69

کالری مصرفی در 30 دقیقه= 15.69 x 30 = 470.9

پاسخ 3. با توجه به ستون سوم و چهارم جدول، در صورتی که RQ معادل 0.86 باشد 54.1٪ کالری مصرفی از کربوهیدرات و 45.9٪ از چربی می باشد.

اکسیژن مصرفی و سایز بدن

در محاسبه ی کالری از طریق RQ، کالری محاسبه شده بر اساس kcal/min می باشد و اثری از وزن فرد مشاهده نمی شود. جهت سازگار کردن و حذف اثر تغییرات اندازه بدن بر مصرف اکسیژن (به عنوان مثال، افراد با جثه ی بزرگ تر معمولا اکسیژن بیشتری مصرف می کنند)، محققین اغلب اکسیژن مصرفی را به جای توده ی بدن (مصرف اکسیژن نسبی نامیده می شود)، به صورت میلی لیتر اکسیژن به ازای کیلوگرم وزن بدن در دقیقه بیان می کنند ($ml\ O_2/kg/min$). در حالت استراحت، این عدد به طور متوسط حدود 3.5 ml/kg/min یا یک معادل متابولیک یا 1 MET (MET: metabolic equivalent) و برای یک فرد 70 کیلوگرمی 245 ml/kg/min (مصرف اکسیژن خالص) می باشد (70 x 3.5 = 245). ابزارهای دیگری در رابطه با اکسیژن مصرفی از جنبه ی سایز بدن و ترکیب بدنی مانند میلی لیتر اکسیژن به ازای کیلوگرم توده بدون چربی در دقیقه (ml/kg FFM/ min) و گاهی به صورت میلی لیتر اکسیژن به ازای سانتی متر مربع ازسطح مقطع عضله در دقیقه می باشد (ml/cm $MCSA^2$/min).

تخمین انرژی مصرفی فعالیت فیزیکی با استفاده از MET

MET واحد اندازه گیری می باشد که برابر است با میزان متابولیسم یک فرد هنگام فعالیت های فیزیکی مختلف و با شدت های متفاوت و به عنوان مضربی برای REE بیان می شود. 1 MET میزان اکسیژن متابولیزه شده در حالت استراحت می باشد (3.5 ml O_2/kg/min در بزرگسالان) و می تواند به صورت 1 کیلوکالری به ازای 1 کیلوگرم وزن بدن در ساعت (1 kcal/kg/h) بیان

شود. بنابراین انرژی مصرفی در بزرگسالان می تواند با استفاده از میزان MET تخمین زده شود (1MET= 1kcal/kg/h). به عنوان مثال، یک فرد بزرگسال با وزن 65 کیلوگرم طی پیاده روی متوسط با سرعت 4 مایل در ساعت (که مقدار MET آن 4.5 می باشد) 293 کیلوکالری در ساعت صرف می کند (4.5 x 65 kg x 1 hour = 293). جدول زیر (ستون دوم از سمت چپ) مقدار MET را برای فعالیت های ورزشی مختلف عنوان کرده است. به عنوان مثال، MET برای باغبانی (gardening) 4.4 می باشد.

جدول ۲-۲ شدت و اثر انواع فعالیت‌ها بر سطح فعالیت فیزیکی بزرگسالان*

فعالیت بدنی	معادل متابولیکی+	تغییر در سطح فعالیت بدنی در ده دقیقه++	تغییر در سطح فعالیت بدنی در ساعت++
فعالیت‌های روزانه			
استراحت درحالت درازکش	۱	۰	۰
رانندگی پشت ماشین	۱	۰	۰
فعالیت کمر در حال ایستاده	۱/۵	۰/۰۰۵	۰/۰۳
آبیاری گیاهان	۲/۵	۰/۰۱۴	۰/۰۹
راه رفتن آرام	۳	۰/۰۱۹	۰/۱۱
جارو برقی کشیدن	۳/۵	۰/۰۲۴	۰/۱۴
انجام کارهای منزل (با شدت متوسط)	۳/۵	۰/۰۲۴	۰/۱۴
باغبانی	۴/۴	۰/۰۳۲	۰/۱۹
چمن‌زدن با ماشین چمن‌زنی	۴/۵	۰/۰۳۳	۰/۲۰
فعالیت‌های اوقات فراغت: سبک			
قدم زدن (۲ مایل در ساعت)	۲/۵	۰/۰۱۴	۰/۰۹
قایقرانی (آرام)	۲/۵	۰/۰۱۴	۰/۰۹
بازی گلف	۲/۵	۰/۰۱۴	۰/۰۹
حرکات موزون آرام	۲/۹	۰/۰۱۸	۰/۱۱
فعالیت‌های اوقات فراغت: متوسط			
قدم زدن (۳ مایل در ساعت)	۳/۳	۰/۰۲۲	۰/۱۳
دوچرخه‌سواری (آرام)	۳/۵	۰/۰۲۴	۰/۱۴
حرکات نرمشی بدون وزنه	۴	۰/۰۲۹	۰/۱۷
قدم زدن (۴ مایل در ساعت)	۴/۵	۰/۰۳۳	۰/۲۰
فعالیت‌های اوقات فراغت: شدید			
شکستن چوب	۴/۹	۰/۰۳۷	۰/۲۲
تنیس دونفره	۵	۰/۰۳۸	۰/۲۳
اسکیت روی یخ	۵/۵	۰/۰۴۳	۰/۲۶
دوچرخه‌سواری (متوسط)	۵/۷	۰/۰۴۵	۰/۲۷
اسکی	۶/۸	۰/۰۵۵	۰/۳۳
شنا	۷	۰/۰۵۷	۰/۳۴
بالا رفتن از تپه (با ۵کیلوگرم بار)	۷/۴	۰/۰۶۱	۰/۳۷
قدم زدن (۵ مایل در ساعت)	۸	۰/۰۶۷	۰/۴۰
راه رفتن سریع (۱۰ دقیقه ـ مایل)	۱۰/۲	۰/۰۸۸	۰/۵۳
طناب بازی	۱۲	۰/۱۰۵	۰/۶۳

* PAL یا سطح فعالیت بدنی عبارتست از: نسبت کل انرژی مصرفی به انرژی مصرفی پایه.

+ METs، معادل متابولیکی عبارتست از: ضریب اکسیژن برداشت شده در زمان استراحت که بصورت ۳/۵ میلی‌لیتر اکسیژن در دقیقه برای هر کیلوگرم وزن بدن فرد بالغ بیان می‌شود.

++ ΔPAL، تغییر سطح فعالیت بدنی شامل اثر تأخیری فعالیت بدنی است که موجب افزایش مصرف اکسیژن پس از ورزش (EPOC) و اتلاف مقداری از انرژی غذای مصرف شده از طریق اثر گرمایی غذا می‌شود.

جدول 6. شدت و اثر فعالیت های مختلف بر سطح فعالیت فیزیکی در بزرگسالان 1

معادله های تخمین انرژی مورد نیاز (EER) انستیتو پزشکی

برای تخمین انرژی مورد نیاز یک فرد با استفاده از معادله های تخمین انرژی مورد نیاز (EER) انستیتو پزشکی، شناختن مقدار سطح فعالیت فیزیکی (PAL)، برای آن فرد ضروری می باشد. مقدار PAL یک فرد می تواند توسط فعالیت های مختلف صورت گرفته در طول روز تحت تاثیر قرار بگیرد و به صورت تغییرات PAL (ΔPAL) نشان داده می شود. برای تعیین ΔPAL، مجموع ΔPAL ها برای هر فعالیت انجام شده طی یک روز (بر اساس جداول انستیتو پزشکی) در مظر گرفته می شود.

برای محاسبه ی PAL برای یک روز، مجموع ΔPAL فعالیت ها با 1 (به عنوان BEE) و 0.1 (به عنوان TEF که 10٪ BEE در نظر گرفته می شود) جمع می گردد (1+0.1=1.1).

TABLE 12-1 Intensity and Impact of Various Activities on Physical Activity Level (PAL) in Adults[a]

Activity	Metabolic Equivalents (METs)[b]	ΔPAL/10 min[c]	ΔPAL/h[c]
Leisure			
Mild			
Billiards	2.4	0.013	0.08
Canoeing (leisurely)	2.5	0.014	0.09
Dancing (ballroom)	2.9	0.018	0.11
Golf (with cart)	2.5	0.014	0.09
Horseback riding (walking)	2.3	0.012	0.07
Playing			
Accordion	1.8	0.008	0.05
Cello	2.3	0.012	0.07
Flute	2.0	0.010	0.06
Piano	2.3	0.012	0.07
Violin	2.5	0.014	0.09
Volleyball (noncompetitive)	2.9	0.018	0.11
Walking (2 mph)	2.5	0.014	0.09
Moderate			
Calisthenics (no weight)	4.0	0.029	0.17
Cycling (leisurely)	3.5	0.024	0.14
Golf (without cart)	4.4	0.032	0.19
Swimming (slow)	4.5	0.033	0.20
Walking (3 mph)	3.3	0.022	0.13
Walking (4 mph)	4.5	0.033	0.20
Vigorous			
Chopping wood	4.9	0.037	0.22
Climbing hills (no load)	6.9	0.056	0.34
Climbing hills (5-kg load)	7.4	0.061	0.37
Cycling (moderately)	5.7	0.045	0.27
Dancing			
Aerobic or ballet	6.0	0.048	0.29
Ballroom (fast) or square	5.5	0.043	0.26
Jogging (10-min miles)	10.2	0.088	0.53
Rope skipping	12.0	0.105	0.63
Skating			
Ice	5.5	0.043	0.26
Roller	6.5	0.052	0.31
Skiing (water or downhill)	6.8	0.055	0.33
Squash	12.1	0.106	0.63
Surfing	6.0	0.048	0.29
Swimming	7.0	0.057	0.34
Tennis (doubles)	5.0	0.038	0.23
Walking (5 mph)	8.0	0.067	0.40

TABLE 12-1 Continued

Activity	Metabolic Equivalents (METs)[b]	ΔPAL/10 min[c]	ΔPAL/h[c]
Activities of daily living			
Gardening (no lifting)	4.4	0.032	0.19
Household tasks, moderate effort	3.5	0.024	0.14
Lifting items continuously	4.0	0.029	0.17
Light activity while sitting	1.5	0.005	0.03
Loading/unloading car	3.0	0.019	0.11
Lying quietly	1.0	0.000	0.00
Mopping	3.5	0.024	0.14
Mowing lawn (power mower)	4.5	0.033	0.20
Raking lawn	4.0	0.029	0.17
Riding in a vehicle	1.0	0.000	0.00
Sitting	0.0	0.000	0.00
Taking out trash	3.0	0.019	0.11
Vacuuming	3.5	0.024	0.14
Walking the dog	3.0	0.019	0.11
Walking from house to car or bus	2.5	0.014	0.09
Watering plants	2.5	0.014	0.09

جدول 7. شدت و اثر فعالیت های مختلف بر سطح فعالیت فیزیکی در بزرگسالان 2

جدول 6 و 7 (ستون اول و دوم از سمت راست) به ترتین ΔPAL را برای بازه زمانی 1 ساعت و 10 دقیقه برای فعالیت های فیزیکی مختلف بیان کرده است.

به عنوان مثال، برای محاسبه ی میزان PAL یک زن بالغ، مجموع ΔPAL های فعالیت روزانه او شامل:

نوع فعالیت فیزیکی	ΔPAL
1 ساعت پیاده روی	0.11
1 ساعت جارو کردن	0.14
4 ساعت فعالیت سبک نشسته	0.12
1 ساعت پیاده روی با سرعت 4 مایل در ساعت	0.20
30 دقیقه اسکی روی یخ	0.13
مجموع	0.7

برای محاسبه ی نهایی PAL این زن بزرگسال، بایستی 0.7 را با 1.1 (به عنوان BEE و TEF) جمع کنیم (1.8= 1.1 + 0.7). جدول زیر گروه بندی سطح فعالیت فیزیکی به چهار دسته ی بی تحرک، کم فعال، فعال و خیلی فعال را نشان می دهد. با توجه به جدول زیر، برای این زن ارزشی PAL، در محدوده ی فعال قرار می گیرد.

PAL بر اساس 4 سطع فعالیت بدنی شامل بی تحرک، کم فعال، فعال و خیلی فعال است. PAL نسبت TEE به BEE می باشد و نشان دهنده ی مقدار انرژی صرف شده برای فعالیت های روزمره است. به همین دلیل، در افراد با سبک زندگی غیر فعال مقدار PAL برابر 1 تا 1.39 دارند.

جدول ۳-۲ تقسیم‌بندی سطوح فعالیت فیزیکی و معادل‌های پیاده‌روی

تقسیم‌بندی سطوح فعالیت فیزیکی	مقادیر سطح فعالیت فیزیکی	معادل‌های پیاده‌روی (مایل در روز با سرعت ۴-۳ مایل در ساعت)
بی‌تحرک	۱-۱/۳۹	پیاده‌روی
کمی فعال	۱/۴-۱/۵۹	۱/۵، ۲/۲، ۲/۹ برای سطح فعالیت بدنی برابر با ۱/۵
فعال	۱/۶-۱/۸۹	۳، ۴/۴، ۵/۸ برای سطح فعالیت بدنی برابر با ۱/۶ ۵/۳، ۷/۳، ۹/۹ برای سطح فعالیت بدنی برابر با ۱/۷۵
بسیار فعال	۱/۹-۲/۵	۷/۵، ۱۰/۳، ۱۴ برای سطح فعالیت بدنی برابر با ۱/۹ ۱۲/۳، ۱۶/۷، ۲۲/۵ برای سطح فعالیت بدنی برابر با ۲/۲ ۱۷، ۲۳، ۳۱ برای سطح فعالیت بدنی برابر با ۲/۵

جدول 8. گروه بندی سطح فعالیت فیزیکی و معادل پیاده روی آن

اخیرا آکادمی ملی علوم، انستیتو پزشکی و انجمن غذا و تغذیه با همکاری اداره سلامت کانادا، نیاز های انرژی برآورد شده را برای مردان، زنان، کودکان، شیرخواران و زنان باردار و شیرده ارائه کرده اند. EER، متوسط دریافت انرژی رژیم غذایی است که نشان دهنده تعادل انرژی در فرد بالغ سالم با سن، جنس، وزن، قد و سطح فعالیت فیزیکی مشخص، همراه با سلامتی مناسب می باشد.

در کودکان و زنان باردار و شیرده، EER، شامل نیازهای انرژی مرتبط با سنتز بافت ها و ترشح شیر در سطوح مطابق با سلامتی کامل است. جدول زیر مقادیر مرجع متوسط دریافت انرژی را در افراد سالم فعال بر اسا قد، وزن، سن برای هر یک از گروه های سنی مشخص کرده است. با استفاده از روش آب دو بار نشان دار شده (DLW) معادلاتی برای برآورد نیاز انرژی افراد بر اساس گروه های جمعیتی تهیه شده است (جدول 9 یا کادر 2-1).

کادر ۱-۲

فرمول‌های پیش‌بینی مصرف انرژی تخمینی ا در چهار سطح فعالیت بدنی۲

EER شیرخواران و بچه‌های کوچک ۲-۰ ساله (بین صدک ۰ و ۹۷ وزن برای قد):

EER = ذخیره انرژی + TEE^{3}

(برای ذخیره انرژی، Kcal) ۱۷۵ + (۱۰۰ - (Kg) وزن شیرخوار × ۸۹) = ۳-۰ ماهه

(برای ذخیره انرژی، Kcal) ۵۶ + (۱۰۰ - (Kg) وزن شیرخوار × ۸۹) = ۶-۴ ماهه

(برای ذخیره انرژی، Kcal) ۲۲ + (۱۰۰ - (Kg) وزن شیرخوار × ۸۹) = ۱۲-۷ ماهه

(برای ذخیره انرژی، Kcal) ۲۰ + (۱۰۰ - (Kg) وزن شیرخوار × ۸۹) = ۳۵-۱۳ ماهه

EER پسران ۸-۳ ساله (بین صدک ۵ و BMI۸۵[۴]):

EER = ذخیره انرژی + TEE

EER = ۸۸/۵-۶۱/۹ × سن (سال) + PA × (۲۶/۷ × وزن (Kg) + ۹۰۳ × قد (m) + ۲۰ (برای ذخیره انرژی Kcal)

EER پسران ۱۸-۹ ساله (بین صدک ۵ و BMI۸۵):

EER = ذخیره انرژی + TEE

EER = ۸۸/۵-۶۱/۹ × سن (سال) + PA × (۲۶/۷ × وزن (Kg) + ۹۰۳ × قد (m) + ۲۵ (برای ذخیره انرژی Kcal)

که در آن:

PA = ضریب فعالیت بدنی برای پسران ۱۸-۳ ساله

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۰ ، < ۱/۴ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۳ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۴ ، < ۱/۶ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۶ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۶ ، < ۱/۹ (فعال)

PA = ۱/۴۲ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۹ ، < ۲/۵ (بسیار فعال)

EER دختران ۸-۳ ساله (بین صدک ۵ و BMI۸۵[۴]):

EER = ذخیره انرژی + TEE

EER = ۱۳۵/۳-۳۰/۸ × سن (سال) + PA × (۱۰ × وزن (Kg) + ۹۳۴ × قد (m) + ۲۰ (برای ذخیره انرژی Kcal)

EER دختران ۱۸-۹ ساله (بین صدک ۵ و BMI۸۵):

EER = ذخیره انرژی + TEE

EER = ۱۳۵/۳-۳۰/۸ × سن (سال) + PA × (۱۰ × وزن (Kg) + ۹۳۴ × قد (m) + ۲۵ (برای ذخیره انرژی Kcal)

که در آن:

PA = ضریب فعالیت بدنی برای پسران ۱۸-۳ ساله

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۰ ، < ۱/۴ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۳ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۴ ، < ۱/۶ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۶ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۶ ، < ۱/۹ (فعال)

PA = ۱/۴۲ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۹ ، < ۲/۵ (بسیار فعال)

EER مردان ۱۹ ساله و بالاتر (BMI = ۱۸/۵-۲۵Kg/m2):

EER = TEE

EER = ۶۶۲-۹/۵۳ × سن (سال) + PA × (۱۵/۹۱ × وزن (Kg) + ۵۳۹/۶ × قد (m)

PA = ضریب فعالیت بدنی

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۰ ، < ۱/۴ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۱ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۴ ، < ۱/۶ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۵ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۶ ، < ۱/۹ (فعال)

PA = ۱/۴۸ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۹ ، < ۲/۵ (بسیار فعال)

کادر ۱-۲

فرمول‌های پیش‌بینی مصرف انرژی تخمینی ا در چهار سطح فعالیت بدنی۲

EER برای زنان ۱۹ ساله و بالاتر ($BMI=18/5-25kg/m^2$):

EER = TEE

EER = ۳۵۴ - ۶/۹۱ × سن (سال) + PA × (۹/۳۶ × وزن (kg) + ۷۲۶ × قد (m))

PA = ضریب فعالیت بدنی

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۰ ، < ۱/۴ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۲ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۴ ، < ۱/۶ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۷ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۶ ، < ۱/۹ (فعال)

PA = ۱/۴۵ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۹ ، < ۲/۵ (بسیار فعال)

EER برای زنان باردار

۱۴ تا ۱۸ ساله:

EER نوجوانان = EER + ذخیره انرژی بارداری

EER نوجوانان = سه ماهه اول بارداری + ۰ (ذخیره انرژی بارداری)

EER نوجوانان = سه ماهه دوم بارداری + ۱۶۰kcal (۸kcal/هفته × ۲۰ (هفته)) + ۱۸۰ کیلوکالری

EER نوجوانان = سه ماهه سوم بارداری + ۲۷۲kcal (۸kcal/هفته × ۳۴ (هفته)) + ۱۸۰ کیلوکالری

EER ۱۹-۵۰ ساله

EER = EER بزرگسال + ذخیره انرژی بارداری

EER نوجوانان = سه ماهه اول بارداری + ۰ (ذخیره انرژی بارداری)

EER نوجوانان = سه ماهه دوم بارداری + ۱۶۰kcal (۸kcal/هفته × ۲۰ (هفته)) + ۱۸۰ کیلوکالری

EER نوجوانان = سه ماهه سوم بارداری + ۲۷۲kcal (۸kcal/هفته × ۳۴ (هفته)) + ۱۸۰ کیلوکالری

EER برای زنان شیرده

۱۴ تا ۱۸ ساله:

EER = EER بزرگسالان + ذخیره تولید شیر - کاهش وزن

۶ ماهه اول = EER × ۵۰۰ - ۱۷۰ (کاهش وزن - انرژی تولید شیر)

۶ ماهه دوم = EER بزرگسال + ۴۰۰ - ۰ (کاهش وزن - انرژی تولید شیر)

TEE حفظ وزن برای پسران ۱۸-۳ ساله اضافه وزن یا درمعرض اضافه وزن (صدک ۸۵ <BMI)

TEE = ۱۱۴ - ۵۰/۹ × سن (سال) × PA + [۱۹/۵ × وزن (kg) + ۱۱۶۱/۴ × قد (m)]

PA = ضریب فعالیت بدنی

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۰ ، < ۱/۴ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۲ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۴ ، < ۱/۶ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۴ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۶ ، < ۱/۹ (فعال)

PA = ۱/۵۴ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۹ ، < ۲/۵ (بسیار فعال)

TEE حفظ وزن برای دختران ۱۸-۳ ساله اضافه وزن یا درمعرض اضافه وزن (صدک ۸۵ <BMI)

TEE = ۳۸۹ - ۴۱/۲ × سن (سال) × PA + [۱۵ × وزن (kg) + ۷۰۱/۶ × قد (m)]

PA = ضریب فعالیت بدنی

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۰ ، < ۱/۴ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۸ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۴ ، < ۱/۶ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۳۵ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۶ ، < ۱/۹ (فعال)

PA = ۱/۶۵ اگر تخمین‌زده می‌شود که PAL ≤ ۱/۹ ، < ۲/۵ (بسیار فعال)

کادر ۱-۲

فرمول‌های پیش‌بینی مصرف انرژی تخمینی ا در چهار سطح فعالیت بدنی ۲

مردان اضافه وزن و چاق ۱۹ ساله و بالاتر ($BMI \leq 25 kg/m^2$)

$TEE = ۱۰۸۶ - ۱۰/۱ \times$ سن (سال) $+ PA \times (۱۳/۷ \times$ وزن $(kg) + ۴۱۶ \times$ قد (m))

PA = ضریب فعالیت بدنی

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۰$ ، $< ۱/۴$ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۲ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۴$ ، $< ۱/۶$ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۹ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۶$ ، $< ۱/۹$ (فعال)

PA = ۱/۵۹ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۹$ ، $< ۲/۵$ (بسیار فعال)

زنان اضافه وزن و چاق ۱۹ ساله و بالاتر ($BMI \leq 25 kg/m^2$)

$TEE = ۴۴۸ - ۷/۹۵ \times$ سن (سال) $+ PA \times (۱۱/۴ \times$ وزن $(kg) + ۶۱۹ \times$ قد (m))

PA = ضریب فعالیت بدنی

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۰$ ، $< ۱/۴$ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۶ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۴$ ، $< ۱/۶$ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۷ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۶$ ، $< ۱/۹$ (فعال)

PA = ۱/۴۴ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۹$ ، $< ۲/۵$ (بسیار فعال)

مردان سالم و اضافه وزن و چاق ۱۹ ساله و بالاتر ($BMI \leq 18/5 kg/m^2$)

$TEE = ۸۶۴ - ۹/۷۲ \times$ سن (سال) $+ PA \times (۱۴/۲ \times$ وزن $(kg) + ۵۰۳ \times$ قد (m))

PA = ضریب فعالیت بدنی

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۰$ ، $< ۱/۴$ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۲ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۴$ ، $< ۱/۶$ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۷ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۶$ ، $< ۱/۹$ (فعال)

PA = ۱/۵۴ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۹$ ، $< ۲/۵$ (بسیار فعال)

زنان سالم و اضافه وزن و چاق ۱۹ ساله و بالاتر ($BMI \leq 18/5 kg/m^2$)

$TEE = ۳۸۷ - ۷/۳۱ \times$ سن (سال) $+ PA \times (۱۰/۹ \times$ وزن $(kg) + ۶۶۰/۷ \times$ قد (m))

PA = ضریب فعالیت بدنی

PA = ۱/۰ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۰$ ، $< ۱/۴$ (بی‌تحرک)

PA = ۱/۱۴ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۴$ ، $< ۱/۶$ (با فعالیت کم)

PA = ۱/۲۷ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۶$ ، $< ۱/۹$ (فعال)

PA = ۱/۴۵ اگر تخمین‌زده می‌شود که $PAL \leq ۱/۹$ ، $< ۲/۵$ (بسیار فعال)

جدول 9. فرمول های پیش بینی مصرف انرژی تخمینی در چهار سطح فعالیت بدنی و در گروه های سنی مختلف

فرمول های تخمین انرژی مصرفی کل برای گروه های دچار اضافه وزن و چاقی و همچنین برای حفظ وزن در پسران و دختران چاق ارائه شده است. تمام معادلات برای حفظ وزن فعلی و ارتقا رشد و حفظ سطح فعالیت بدنی برای زیر گروه های جمعیتی تهیه شده است و برای افرادی که تمایل به کاهش وزن دارند مناسب نیست.

EER در افراد 3 ساله و بزرگتر بر اساس ترکیب سن، وزن، قد، جنس و سطع فعالیت بدنی است. در نوزادان و کودکان کم سن، اگرچه متغیرهایی مانند سن، جنس و نوع تغذیه (شیر مادر یا شیر خشک) می تواند TEE را تحت تاثیر قرار دهد ولی وزن تنها معیار تعیین کننده نیاز کل انرژی مصرفی آن ها است.

در کودکان کم سن و نوزادان و کودکان 3 تا 18 ساله، زنان باردار و شیرده، مقدار کالری اضافی برای تامین دخیره بافتی و رشد لازم می باشد که علاوه بر انرژی مصرفی کل (TEE) است. بنابراین نیاز انرژی تخمین زده شده در این گروه های جمعیتی، مجموع TEE به اضافه کالری لازم برای سنتز بافتی می باشد. معادله پیش بینی نیاز انرژی دارای یک ضریب فعالیت (PA) است (توجه شود که PA با PAL اشتباه گرفته نشود) که برای تمام گروه ها به جز نوزادان و کودکان کم سن استفاده می شود.

محاسبه ی انرژی نوشیدنی های الکلی

با توجه به محتوای بالای کالری در نوشیدنی های الکلی محاسبه ی آن در افرادی که از این نوشیدنی ها استفاده می کنند بسیار اهمیت دارد. الکل موجود در این نوشیدنی ها اتانول یا اتیل الکل می باشد. جهت محاسبه ی انرژی نوشیدنی های الکلی آنچه بیش از همه اهمیت دارد proof و یا درصد الکل در نوشیدنی مورد نظر می باشد. Proof به نسبت الکل به آب یا سایر مایعات در یک نوشیدنی الکلی گفته می شود. معمولا بر اساس استاندارد موجود در ایالات متحده 100-proof را برابر با 50٪ اتیل الکل نسبت به حجم در نظر می گیرند. برای محاسبه ی محتوای انرژی نوشیدنی های الکلی از دو طریق می توان عمل نمود:

روش اول:

انرژی (کیلو کالری) **= حجم نوشیدنی** (اونس) **x proof x 0.8** (kcal proof/a oz.)

به عنوان مثال، کالری 1.5 اونس ویسکی 86-proof برابر است با:

1½ oz. x 86-proof x 0.8 kcal/proof/1 oz.= 103 kcal

نکته: 1 اونس معادل 28.34 گرم می باشد.

روش دوم:

انرژی (کیلو کالری) **= حجم نوشیدنی** (میلی لیتر) **x درصد الکل x 0.8 x 7**

در صورتی که مثال بالا را به روش دوم حل نماییم:

1 oz = 28.34 ml → 1½ oz = 42.52

$$42.52 \times \frac{43}{100} \times 0.8 \times 7 = 103$$

مفهوم انرژی و تعادل انرژی

انرژی نقش اساسی در حیات انسان و سایر موجودات زنده دارد. این انرژی می تواند از طریق مواد غذایی مصرفی به بدن برسد تا صرف انرژی لازم جهت اعمال حیاتی بدن، فعالیت فیزیکی و ... گردد. در برخی شرایط فیزیولوژیک و پاتولوژیک (مانند بیماری) نیاز به انرژی افزایش می یابد. این شرایط شامل بارداری، شیر دهی، هنگام بیماری و دوران های رشد می باشد.

اجزای انرژی دریافتی و انرژی مصرفی

شناخت انرژی دریافتی (یا انرژی ورودی یا input یا intake) و انرژی مصرفی (یا انرژی خروجی یا output) و اجزای هر کدام نقش مهمی در درک بهتر مفهوم انرژی دارد. در ادامه مختصر به این اجزا و حالات ممکن آن اشاره می کنیم (شکل شماره 7).

انرژی دریافتی

مواد مغذی که می توانند در بدن ما تولید انرژی کنند شامل کربوهیدرات (قند)، پروتیین، چربی و الکل (اگرچه الکل جز مواد مغذی به حساب نمی آید) می باشد. به روایتی دیگر، مجموع انرژی ناشی از این چهار ماده، کل انرژی دریافتی ما را شامل می شود. نکته ای که گاهی به اشتباه عنوان می گردد این است که ویتامین ها، مواد معدنی و آب فاقد انرژی می باشند و نقشی در میزان انرژی روزانه ندارند. (اگرچه ویتامین ها و مواد معدنی نقش اساسی در فرآیندهای سلولی تولید کننده انرژی دارند). به بیان ساده تر:

انرژی دریافتی در یک روز= انرژی ناشی از کربوهیدرات + انرژی ناشی از پروتیین + انرژی ناشی از چربی + انرژی ناشی از الکل

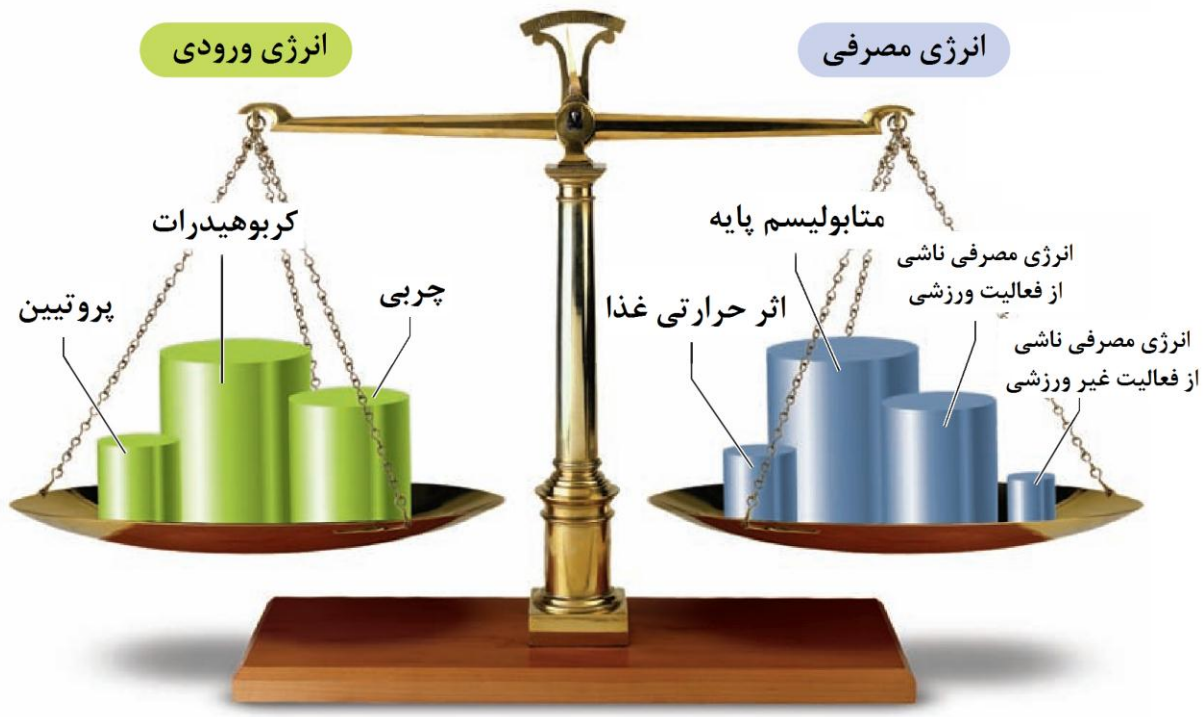
انرژی مصرفی

به کل انرژی مصرفی طی 24 ساعت عنوان می شود که عبارتست از 1) انرژی مصرفی پایه 2) اثر حرارتی غذا 3) انرژی مصرفی ناشی از فعالیت ورزشی 4) انرژی مصرفی ناشی از فعالیت غیر ورزشی

1. **انرژی مصرفی پایه (متابولیسم پایه):** شامل حداقل انرژی مورد نیاز جهت حیات می باشد. به بیان ساده تر انرژی مصرفی هنگام 24 ساعت استراحت فیزیکی و ذهنی، در شرایط دمایی خنثی (که فرآیند انتقال دما از بدن به محیط به حداقل برسد) می باشد.

   این انرژی بیشتر صرف اندام های با متابولیسم پایه بالا مانند کبد، مغز، قلب و کلیه ها و اندام های با حجم زیاد مانند توده ی عضلانی و چربی می شود.

2. **اثر حرارتی غذا:** اثر حرارتی غذا یا حرارات زایی ناشی از رژیم غذایی، انرژی مورد نیاز جهت خوردن، هضم، جذب، انتقال و متابولیزه کردن ماده ی غذای و ذخیره ی انرژی ناشی از آن می باشد. به بیان ساده تر نشان دهنده ی انرژی مصرفی ناشی از خوردن مواد غذایی و استفاده از آن می باشد. اثر حرارتی بدن معمولا 10 درصد از کل انرژی روزانه را شامل می شود.
3. **انرژی مصرفی ناشی از فعالیت ورزشی:** انرژی مصرفی هنگام فعالیت های ورزشی می باشد. سهم انرژی ناشی از فعالیت ورزشی متغیرترین بخش کل انرژی مصرفی روزانه می باشد که می تواند از 100 کیلوکالری در روز در افراد ساکن تا 3000 کیلوکالری در روز در ورزشکاران حرفه ای متغیر باشد.
4. **انرژی مصرفی ناشی از فعالیت غیر ورزشی:** انرژی مصرفی ناشی از فعالیت های روزانه زندگی می باشد. انرژی مصرفی ناشی از فعالیت غیر ورزشی بیان کننده ی انرژی مصرفی هنگام کارهای روزمره و فعالیت های اوقات فراغت (مانند خرید کردن، جویدن آدامس و حتی حرکات دست و پا هنگام بی قراری) می باشد که می تواند سهم آن در انرژی مصرفی کل در افراد مختلف متفاوت باشد.



شکل 7. اجزای انرژی دریافتی و انرژی مصرفی. (به دلیل اینکه الکل به عنوان ماده مغذی شناخته نمی شود و در فرآیندهای رشد، حفظ و بازسازی بدن نتقش ندارد در شکل ذکر نشده است)

تعادل و توازن انرژی

درک مقوله ی توازن انرژی و نقش آن در کاهش، افزایش و حفظ وزن بسیار اساسی می باشد. با توجه به تفاوت میزان کالری دریافتی و مصرفی، وزن فرد می تواند به صورت یک از حالات زیر تعریف گردد:

1. **تعادل انرژی:** در صورتی که انرژی دریافتی ناشی از مواد غذایی و نوشیدین ها و انرژی مصرفی ناشی از انرژی مصرفی پایه، اثر حرارتی غذا، انرژی مصرفی ناشی از فعالیت ورزشی و انرژی مصرفی ناشی از فعالیت غیر ورزشی برابر باشد وضعیتی تحت عنوان "تعادل انرژی" یا "energy eqilibrium" رخ می دهد. در این وضعیت وزن فرد در طول زمان نسبتا ثابت می ماند (شکل 8 ردیف اول).
2. **تعادل منفی انرژی:** در صورتی که کالری دریافتی کمتر از کالری مصرفی باشد، تعادل منفی انرژی رخ می دهد. در این وضعیت، بدن جهت انجام فعالیت های خود به کالری بیشتری نسبت به کالری دریافتی رژیم غذایی نیاز دارد. بنابراین، بدن اقدام به متابولیزه کردن چربی ذخیره به عنوان انرژی می کند. کاهش وزن نتیجه ی وضعیت تعادل منفی انرژی می باشد (شکل 8 ردیف دوم). توجه داشته باشید که با تداوم این وضعیت در طول زمان ، بافت چربی شما تحلیل رفته و لباس های شما گشاد می شود!!

   شاید به نظر آید که برای رسیدن به تعادل منفی انرژی حتما بایستی حجم غذایی به طور معناداری کاهش یابد، اما عملا می تواند این گونه نباشد. واضح است غذاهای از چربی محتوای انرژی بالاتری نسبت به غذاهای نسبتا بدون چربی دارند. یک فنجان شیر کامل حاوی 160 کیلوکالری می باشد. در حالی که همان مقدار شیر بدون چربی حاوی 90 کیلوکالری می باشد. اگر فردی که به طور معمول 1 لیتر شیر کامل می نوشد را به شیر بدون چربی (skimmed milk) –که بین 0 تا 0.5٪ و به طور میانگین 0.1٪ چربی دارد- تغییر دهد، مجموع کالری مصرفی آن معادل 11.5 کیلوگرم کاهش در هر سال می باشد. در صورتی که سایر موارد رژیم ثابت باقی بماند، در 3 سال، کاهش چربی بدن حدود 34 کیلوگرم می باشد! با چنین مقایسه ی تئوری شایسته است توجه جدی به آن گردد چرا که تفاوت ترکیب تغذیه ای شیر کامل و شیر بدون چربی تقریبا در محتوای چربی آن ها می باشد. علاوه بر این موارد، نوشیدن 1 لیوان شیر بدون چربی به جای شر کامل به طور قابل توجهی دریافت اسیدهای چرب اشباع (0.4 گرم به جای 5.1) و کلسترول (0.3 به جای 33 میلی گرم) کاهش می دهد.
3. **تعادل مثبت انرژی:** در صورتی که دریافت انرژی ناشی از درشت مغذی ها (و الکل) بیشتر از کالری دریافتی باشد وضعیت تعادل مثبت انرژی رخ می دهد. در این وضعیت، بدن چربی اضافی رژیمی را در سلول های چربی ذخیره می کند. به علاوه، بدن کربوهیدرات، پروتیین و الکل مازاد رژیمی را به چربی تبدیل کرده و در سلول های چربی ذخیره می نماید. افزایش وزن نتیجه بودن در وضعیت تعادل مثبت انرژی می باشد (شکل 8 ردیف سوم) و سرانجام باید توجه داشت که لباس هایتان در این شرایط برایتان تنگ می شود!!

   تعادل مثبت انرژی برای زنان باردار ضروری است زیرا کالری اضافی جهت ایجاد بافت های جدید طی بارداری مورد نیاز می باشد. تعادل مثبت انرژی همچنین هنگام دوره های رشد مانند دوران جنینی، نوزادی، کودکی و نوجوانی رخ می دهد. صرف نظر از سن، در طول زمان، حتی میزان اندک تعادل مثبت انرژی هم می تواند باعث افزایش وزن گردد.

شکل 8. حالت های ممکن وضعیت انرژی. این شکل نشان می دهد که 3 حالت برای وضعیت انرژی ممکن می باشد. در وضعیت تعادل انرژی، مقدار انرژی دریافتی افراد برابر با انرژی مصرفی می باشد. در وضعیت مثبت انرژی، افراد انرژی بیش از انرژی مصرفی دریافت می کنند که متعاقب آن وزن افزایش می یابد. د وضعیت منفی انرژی، افاراد انرژی کمتری نسبت به انرژی که مصرف می کنند دریافت می کنند. حفظ تعادل انرژی – مطابقت انرژی ورودی و خروجی طی مدت زمان طولانی- برای حفظ وزن بدن حیاتی می باشد.

چگونه REE را محاسبه کنیم؟

معادلات رگرسیون یا پیش بینی کننده کاربردی ترین روش برای کمک به تعیین انرژی مصرفی و در نتیجه انرژی مورد نیاز می باشد. در این قسمت تعدادی از این معادله ها ذکر گردیده است.

1. **معادله ی Mifflin-St. Jeor:**

Men: RMR (kcal/day) = (9.99 × wt) + (6.25 × ht) − (4.92 × age) + 5
Women: RMR (kcal/day) = (9.99 × wt) + (6.25 × ht) − (4.92 × age) − 161
Where: wt = weight (kg)
ht = height (cm)
age = age (years)

2. **معادله ی Cunningham:**

RMR = 500 + 22 (FFM)
Where: FFM = fat-free mass (kg)

3. **فرمول ساده شده RMR:**

Men: 1 kcal per kilogram body weight per hour
Women: 0.9 kcal per kilogram body weight per hour

4. معادله ی **Harris-Benedict**:

Adult Males

Resting energy expenditure = 66.5 + 13.7 (Weight in kg)
+ 5.0 (Height in cm) − 6.8 (Age)

Adult Females

Resting energy expenditure = 655 + 9.6 (Weight in kg)
+ 1.8 (Height in cm) − 4.7 (Age)

5. روش **DRI (Dietary Reference Intakes)** (برای بالغین):

Males

662 − 9.53 (age) + PA × (15.91 × [Weight in kg]
+ 539.6 × [Height in meters])

PA (physical activity):

Sedentary = 1.0

Low active = 1.11

Active = 1.25

Very active = 1.48

Females

354 − 6.91(age) + PA × (9.36 × [Weight in kg]
+ 726 × [Height in meters])

PA (physical activity):

Sedentary = 1.0

Low active = 1.12

Active = 1.27

Very active = 1.45

6. **معادله ی سازمان جهانی بهداشت (WHO)**

Gender and Age (years)	*Equation (BW in kilograms)*	*Activity Factor*
Males, 10 to 18 years old	REE = (17.5 × BW) + 651	1.6–2.4
Males, 19 to 30 years old	REE = (15.3 × BW) + 679	1.6–2.4
Males, 31 to 60 years old	REE = (11.6 × BW) + 879	1.6–2.4
Females, 10 to 18 years old	REE = (12.2 × BW) + 749	1.6–2.4
Females, 19 to 30 years old	REE = (14.7 × BW) + 496	1.6–2.4
Females, 31 to 60 years old	REE = (8.7 × BW) + 829	1.6–2.4

محاسبه ی TEE

برای تخمین انرژی مصرفی کل (TEE)، برای اثر حرارتی ورزش یا فعالیت فیزیکی، REE بایستی در یک ضریب فعالیت ضرب گردد. که ضریب ها در منابع مختلف متفاوت بوده ولی اغلب رنجی میان 1.2 تا 2.0 می باشند:

ضریب فعالیت	میزان فعالیت
1.2	بی تحرک
1.3	کم فعال
1.75-1.5	فعال
2.0	بسیار فعال

جدول 9. ضریب فعالیت جهت محاسبه ی TEE با توجه به میزان REE

معادله ی WHO از ضریب های فعالیت 1.6-2.4 استفاده می کند که ممکن است تخمین بهتری از اثر حرارتی فعالیت ورزشکاران باشد.

روش آسان برای محاسبه ی TEE

جدول زیر یک روش بسیار ساده توسعه داده شده به منظور تخمین انرژی مصرفی روزانه در مردان بالغ و زنان غیر باردار بر اساس جنسیت، وزن (به کیلوگرم) و سطح فعالیت فیزیکی می باشد:

انرژی مصرفی برای مردان (kcal/kg/d)	انرژی مصرفی برای زنان (kcal/kg/d)	سطح فعالیت فیزیکی
31	30	**غیر فعال** (تنها فعالیت های زندگی روزانه)
38	35	**فعالیت کم** (فعالیت های زندگی روزانه + پیاده روی 2 مایل در روز یا معادل آن)
41	37	**فعالیت متوسط** (فعالیت های زندگی روزانه + ورزش با شدت متوسط 3 تا 5 روز در هفته)
50	44	**فعالیت سنگین** (فعالیت های زندگی روزانه + ورزش با شدت متوسط تا سنگین در اغلب روزها)
58	51	**فعالیت استثنایی** (فعالیت های زندگی روزانه + ورزش سنگین)