



پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

ساعت ورزشکاران

چگونگی تأثیر زیست‌شناسی و ساعات شبانه روز بر عملکرد ورزشی

دکتر توماس، دبلیو رولند

ترجمه:

دکتر حمید رجبی

(عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی)

حمید قبادی

محمد مهرداد حق‌گو

مهدی علی‌خواه

ویراستار علمی:

دکتر حمید رجبی

(عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی)

سرشناسه	: رولند، توماس دیلیو ۱۹۴۳-م. (Rowland, Thomas w)
عنوان و نام پدید آورنده	: ساعت ورزشکاران: چگونگی تاثیر زیست شناسی و ساعات شبانه روز بر عملکرد ورزشی / تالیف توماس دیلیو، رولند / ترجمه: حمید رجبی... [و دیگران]؛ ویراستار علمی حمید رجبی.
مشخصات نشر	: تهران: پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی، انتشارات، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۳۱۲؛ مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۸۵۸-۵۹-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت عنوان اصلی:	The Athlete's clock: how biology and time affect sport performance, c2011
یادداشت	: ترجمه حمید رجبی، حمید قبادی، محمدمهراد حق گو، مهدی علی خواه.
موضوع	: ورزش - جنبه های فیزیولوژیکی
موضوع	: زیست شناسی زمانی
شناسه افزوده	: رجبی، حمید، ۱۳۴۶- مترجم، ویراستار علمی.
شناسه افزوده	: پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۴ س ۲ / ۹۳۵ / RC
رده بندی دیویی	: ۶۱۲ / ۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۱۰۱۱۹



پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی

ساعت ورزشکاران

چگونگی تاثیر زیست شناسی و ساعات شبانه روز بر عملکرد ورزشی

ترجمه: دکتر حمید رجبی، حمید قبادی، محمدمهراد حق گو، مهدی علی خواه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۸۵۸-۵۹-۳

ناشر: پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی

شمارگان: ۱۰۰۰ نوبت چاپ: تهران، اول ۱۳۹۴ قطع: وزیری

چاپ و صحافی: کیامرثی کیتوگرافی: کیامرثی

قیمت: ۱۸۰۰۰ ریال

تهران: خیابان مطهری، خیابان میرعماد، کوچه پنجم، پلاک ۳- کد پستی: ۱۵۸۷۹۵۸۷۱۱

تلفن: ۸۸۱۷۴۱۴۸ (۰۲۱) نمایر: ۸۸۱۷۴۲۱۷ ssrc.ac.ir info@ssrc.ac.ir

کلیه حقوق برای پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری محفوظ است.

پیشگفتار پژوهشگاه

تربیت بدنی و علوم ورزشی به عنوان یک حوزه علمی دانشگاهی در سال های اخیر روند رو به رشدی را در تمامی زمینه های آموزشی، پژوهشی و اجرایی داشته است. یکی از مسایل مهم مورد توجه مسئولان و برنامه ریزان، شناسایی، فراهم سازی و تقویت زمینه های لازم برای تولید دانش علوم ورزشی و به کارگیری علوم ورزشی تولید یافته در عرصه های ورزش قهرمانی و میادین بین المللی و نیز ورزش همگانی و سلامت عمومی- است. به همین جهت پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی که در راستای سیاست های علمی، آموزشی و پژوهشی خود، برای انتقال آخرین یافته ها به منظور توسعه روزافزون دانش و فناوری در ایران اسلامی بنیان نهاده شده، در نظر دارد با فراهم کردن بستری مناسب برای پیشبرد فعالیت های پژوهشی و نیز ارتقاء سطح علمی، فرهنگی و کمک به تلفیق علم و عمل، گامی مؤثر در رفع نیازهای علمی ورزش کشور بردارد. در این راستا، پژوهشگاه اقدام به انتشار کتاب های علمی- ورزشی- تخصصی برگرفته از تلاش های متخصصان، محققان و دانش آموختگان تربیت بدنی و علوم ورزشی نموده است. امید است با انتشار این گونه کتب، به فضل خداوند متعال، گامی مؤثری در جهت تحقق اهداف عالیه نظام جمهوری اسلامی ایران برداشته باشیم.

پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	۱۳
مقدمه.....	۱۹
فصل اول: برتری با کیست؟ تنظیم سرعت مسابقه	۳۸۹
راهکار تنظیم سرعت مطلوب.....	۴۳
انتخاب سرعت گام برداشتن: مسافت و سرعت.....	۴۶
راهکار تنظیم سرعت آگاهانه.....	۴۶
تنظیم ناخودآگاه بوسیله سیستم عصبی مرکزی.....	۵۰
این محافظت چرا؟.....	۵۷
مستنداتی برای ورزشکار.....	۶۰
انتخاب سرعت گام برداشتن: انتخاب الگوی سرعت.....	۶۳
تنظیم سرعت در ورزش‌های دیگر.....	۷۰
تحقیقات به ما چه می‌گوید.....	۷۴
انتخاب راهکار گام برداشتن: عمل کردن مانند دیگران.....	۷۷
پیام‌های این فصل.....	۸۴
فصل دوم: پیشروی کردن مانند آهنگ طبل زن:	۸۵
هماهنگی در رقابت‌های استقامتی.....	۸۵
حرکت کردن ضربانی: تنظیم کننده حرکتی.....	۸۷
هماهنگی عضلانی: تواتر و طول گام.....	۸۹
مشاهدات تجربی.....	۹۱
هماهنگی در ورزش‌های دیگر.....	۹۸
شنا کردن.....	۹۸
دوچرخه سواری.....	۱۰۲
خلاصه.....	۱۰۶
مولد الگوی مرکزی.....	۱۰۷
طبیعت زیستی مولد الگوی مرکزی.....	۱۰۸
ساعت‌های درونی.....	۱۱۸
همزمان سازی حرکت و تنفس.....	۱۱۹

۱۲۲	انسان مانند حیوانات دارای استقامت هوازی
۱۲۴	خواندنی‌های پیشنهادی
۱۲۸	پیام‌های این فصل
۱۳۳	فصل سوم: اتومبیل‌های مخصوص مسابقات سرعت، سوسک‌های
۱۳۲	ماشین انسان
۱۳۶	مشاهدات تجربی در مورد دو سرعت
۱۳۷	مرحله آغاز حرکت با جدا شدن از تخته استارت
۱۳۹	مرحله شتابگیری
۱۴۰	مرحله بیداری سرعت
۱۴۲	مرحله کاهش سرعت
۱۴۳	دیدگاه ورزشکاران، اجماع به رقابت‌های دو سرعت
۱۴۵	عوامل تعیین کننده عملکرد دوی سرعت: طول گام یا تواتر آن؟
۱۵۲	چه چیزی تواتر را محدود می‌کند؟
۱۵۳	میزان تحریک نرون آغاز کننده حرکت
۱۵۳	سرعت انقباض عضله
۱۵۴	سرعت انتقال عصبی
۱۵۵	فرماندهی سیستم عصبی مرکزی
۱۵۷	مستنداتی برای یک دهنده سرعتی
۱۶۰	ایا محدودیتی برای سرعت وجود دارد؟
۱۶۲	رکورد جهانی به چه معناست؟
۱۶۵	عامل اصلی بهبود رکوردهای عملکرد سرعتی چیست؟
۱۶۷	مستنداتی برای مولد الگوی مرکزی
۱۶۸	خواندنی‌های پیشنهادی
۱۷۱	پیام‌های این فصل
۱۷۳	فصل چهارم: شب و روز، ریتم‌های شبانه روزی و عملکرد ورزشی
۱۷۵	ریتم‌های شبانه روزی
۱۷۶	تاریخچه ریتم‌های شبانه روزی
۱۷۹	طبیعت ریتم‌های زیستی
۱۸۳	جایگاه ساعت زیستی
۱۸۴	اهمیت ریتم‌های زیستی
۱۸۵	ریتم‌های شبانه روزی و ورزشکاران

۱۸۷	متغیرهای فیزیولوژیکی و متابولیکی
۱۹۳	عوامل روانشناختی و روان حرکتی
۱۹۴	مستنداتی برای عملکرد ورزشی
۱۹۷	ریتم‌های شبانه روزی داخلی عملکرد
۲۰۰	مستنداتی برای ورزشکاران
۲۰۳	ریتمی بودن فصلی در عملکرد
۲۰۴	پرواز زدگی و عملکرد
۲۰۸	پرواز زدگی وابسته به عرض جغرافیایی
۲۱۳	خواندنی‌های پیشنهادی
۲۱۵	پیام‌های این فصل
۲۱۷	فصل پنجم: همه چیز دربارهٔ زمان / چشم دوختن بر توپ
۲۲۱	تنظیم زمان توانندگان
۲۲۴	چالش‌های زمان بندی ادراکی حرکتی در ورزش‌ها
۲۳۲	ورزشکاران: نخبگی در زمان بندی ادراکی حرکتی
۲۳۳	زمان عکس العمل
۲۳۵	زمان بندی تصادفی
۲۳۷	پیش بینی
۲۳۸	آیا ورزشکاران با قوانین مبارزه می‌کنند؟
۲۴۰	مطالعات انجام گرفته در زمینه پیشرفت یا تمرین
۲۴۲	نقطه نظرات مشترک تیم توآکس و دکارت
۲۴۴	آیا ورزشکاران می‌توانند زمان را آهسته کنند؟
۲۴۷	خواندنی‌های پیشنهادی
۲۴۹	پیام‌های این فصل
۲۵۱	فصل ششم: بهتر شدن در همه زمان‌ها / توسعه مهارت ورزشی در
۲۵۳	یک موضوع مرتبط
۲۵۹	تاثیر تاریخ تولد
۲۶۵	بیش محدود
۲۶۷	توان تمرین
۲۷۰	آیا موفقیت، موفقیت را به ارمغان می‌آورد؟
۲۷۵	شناسایی زود هنگام استعدادها
۲۷۹	یک رویکرد جایگزین

۲۸۱	خواندنی‌های پیشنهادی
۲۸۲	پیام‌های این فصل
۲۸۵	فصل هفتم: برفراز تپه / سالمندی و عملکرد ورزشی
۲۸۷	طبقه‌بندی‌های سالمندی
۲۹۰	فعالیت بدنی و طول عمر
۲۹۱	چه عواملی سالمندی اولیه را به تاخیر می‌اندازد؟
۲۹۲	مواردی درباره سالمندی ثانویه
۲۹۳	چرا ما پیر می‌شویم؟
۲۹۴	منطق طول سالمندی
۲۹۴	ساز و کارهای سالمندی
۲۹۶	فعالیت بدنی و ترکیب بدن در طول سالمندی
۲۹۷	دشواری‌های مراجعه تا سالمندی بر عملکرد
۲۹۸	ساعت سالمندی، ظرفیت حرکتی و عملکرد ورزشی
۳۰۹	خواندنی‌های پیشنهادی
۳۱۱	پیام‌های این فصل

پیشگفتار

زمانی درک فیزیولوژی فعالیت بدنی کار راحتی بود. کلید تمامی انواع عملکرد ورزشی قلب بود، که نحوه عملکردش تعیین می کرد که تا چه مسافت و چه سرعتی بشر می توانست بدود، شنا و یا دوچرخه سواری کند. با رسیدن قلب به محدوده ظرفیتی خود، عضلات دچار کمبود اکسیژن می-شوند، و در نتیجه سم اسید لاکتیک را آزاد می کنند. اسید لاکتیک در عملکرد طبیعی عضلات دخالت میکند و سبب درد و ناراحتی می شود که آن را در قالب خستگی احساس می کنیم. با توجه به این توضیح بهترین ورزشکاران کسانی هستند که بزرگترین قلب ها را داشته باشند و قلب آن ها قادر باشد به سرعت مقدار خون را به عضلات فعال پمپ کرده و بیشترین مقدار اکسیژن مصرفی را در هنگام فعالیت بدنی ایجاد کند.

این نظریه بر اساس کارهای برنده جایزه بزرگ نوبل بریتانیا، فردریک گاولندهاپکینز^۱ در سال ۱۹۰۷ و پروفیسور آرکیبالد هیل^۲ در سال ۱۹۲۰ استوار است. این نظریه به سرعت توسعه یافته و به شدت توسط گروهی از دانشمندان از آن دفاع شده است. بیشتر انسان ها با هر نوع علاقه به علوم ورزشی، معتقدند که این نظریه تا حدیقت ممکن است.

اما برای اولین بار در طی ۹۰ سال گذشته، امروز بعضی شکاف ها در دیوار این نظریه محکم شده ایم. ما هم اکنون می دانیم که بعضی چیزها را نمی توان به سادگی توسط مدل هاپکینز هیل^۳ شرح داد. اگر این مدل واقعا حقیقت نهایی است، بسیاری به برگزاری رقابت های ورزشی اساسا وجود ندارد، مدال ها را می توان به راحتی به کسانی داد که بزرگترین قلب ها و بیشترین ظرفیت را در مصرف اکسیژن دارند. اما مشکل اینجاست که بهترین ورزشکاران (برای مثال کنیایی ها و اتیوپیایی ها) هیچ ظرفیت بیشتری برای اکسیژن مصرفی نسبت به کسانی که با فاصله بسیار پشت سر آن ها رقابت را تمام می کنند، ندارند. بنابراین چیز دیگری میراث نظریه ساده قلب بزرگتر و ظرفیت بیشتر اکسیژن مصرفی باید عملکرد ورزشی شگفت انگیز و استثنائی را توجیه کند.

در حقیقت این نظریه سبب مطرح شدن یک سوال ساده می شود: اگر قلب محدودکننده تمامی انواع عملکردهای ورزشی استقامتی است، پس چرا دوچرخه سواران توردو فرانس و یا دوندگان رقابت های ماراتون المپیک فقط در سطوح زیر بیشینه عملکرد قلب مسابقه می دهند. اگر واقعا قلب

1. Frederick Gowland Hopkins

2. Archibald Vivian Hill

3. Hopkins - Hill Model

عامل محدودکننده عملکرد آنهاست، باید قلب آن ورزشکاران در لحظه شروع مسابقه با عملکرد بیشینه فعالیت کند، اما اصلاً اینگونه نیست. بنابراین باید پای چیز دیگری در میان باشد.

احتمالاً قوی‌ترین مدرک بر ضد این نظریه بسیار ساده و روشن است، آنقدر واضح که ظرف مدت ۹۰ سال گذشته نادیده گرفته شده است: آیا مدل هاپکینز-هیل می‌تواند توضیح دهد که چگونه ورزشکاران می‌توانند در طول رقابت و یا حتی تمرین بر سرعت گام برداشتن خودشان بیفزایند؟

اگر کنترل عملکرد ورزشی در عضلات هنگام تمرین کردن تحت تأثیر سم اسید لاکتیک قرار دارد، پس چرا ورزشکاران، رقابت با مسافت‌های مختلف را در سرعت‌های متفاوت شروع می‌کنند؟ اگر اسید لاکتیک تنها عامل کنترل کننده سرعت ورزشکاران است، بنابراین برای هر شخص بدون توجه به مسافتی که می‌خواهد طی کند، باید تنها یک سرعت حرکت وجود داشته باشد. سرعت باید در مسافتی باشد که اثر سم اسید لاکتیک در بدن شخص تازه احساس شده باشد، اگر شخص تلاش کند سریع‌تر بدود، نتیجه اسید لاکتیک بیشتری ترشح می‌شود و عملکرد شخص کندتر می‌شود. اما کاهش سرعت به سبب پایین آمدن سطوح اسید لاکتیک در عضلات می‌شود، که سبب از بین بردن اثر بازدارندگی می‌شود و موجب افزایش سریع سطح عملکرد (البته به صورت موقت) می‌گردد. اما بزودی با افزایش سطوح اسید لاکتیک در عضلات بیشتر شده و فرایند را برعکس می‌کند.

اگر الگوی مذکور قابلیت روشن کردن این مسئله را ندارد که چگونه سرعت‌های مختلف در طول عملکرد ورزشی امکان پذیر است، بنابراین مثل حل بزرگتر الگو در توضیح دادن این مسئله است که چگونه ورزشکاران با نزدیک شدن به خط پایان، سرعت خود را افزایش داده و از دیگران سبقت می‌گیرند (کوشش ناگهانی پایانی). کوشش ناگهانی پایانی در انتهاهای هر یک از مراحل تور دو فرانس^۱ کاملاً واضح است، اما در تمامی رقابت‌های دوی بالاتر از ۱۰۰ متر نیز وجود دارد. چگونه برای یک ورزشکار خسته امکان دارد که در پایان رقابت و در اوج خستگی سرعت خود را افزایش دهد. این پدیده عمومی نشان می‌دهد که فهم ما از خستگی آنگونه که در کتاب‌های ورزشی کلاسیک به عنوان ناتوانی در حفظ نیروی مطلوب عضلات (یا سریع دوبدن) تعریف شده است نمی‌تواند توضیح دهد که در دنیای واقعی رقابت‌های ورزشی چه اتفاقی می‌افتد. بنابراین اگر ورزشکاران در پایان رقابت و در اوج خستگی سرعت خود را افزایش می‌دهند، نمی‌توانند با توجه به تعریف فیزیولوژیکی آن، دچار خستگی شده باشند.

اما آنچه که باعث سردرگمی بیشتر می‌شود این است که: وقتی ورزشکاران در لحظات آخر رقابت برای رسیدن به خط پایان، کوشش ناگهانی نهایی را انجام می‌دهند، آن‌ها تمام تارهای عضلانی را در اعضای در حال حرکت خود فعال نمی‌کنند. آن‌ها همیشه رقابت را با مقداری نیروی ذخیره عضلانی به اتمام می‌رسانند که سبب مطرح کردن این سوال می‌شود: چرا نه؟ چه چیزی مانع آن‌ها می‌شود. اما نکته جالب‌تر اینکه، اگر ورزشکاری با فاصله چند هزارم ثانیه دوم شود، چه چیزی سبب شده که او عقب بیفتد و قدری سریع‌تر ندود؟ چرا او خطر مرگ را برای پیروزی با یک مقدار تلاش بیشتر قبول نکرده است، باید اینگونه نتیجه‌گیری کرد که او ترجیح داده تا دوم شود تا اینکه سریع‌تر بدود حتی اگر سریع‌تر دوبدن قرار نبود او را بکشد.

آخرین مدرک بر علیه این تنظیم محیطی کامل عملکرد ورزشی، این است که مواد خاصی می‌توانند تأثیر مشخصی را بر عملکرد ورزشی انسان داشته باشند، هر چند اگر تصور شود که تنها بر روی مغز تأثیر گذارند. سواستامین‌ها^۱ هستند، گروهی از داروها که با عمل بر روی مغز برای کاهش احساس ناخوشایند خستگی، به گونه‌ای حیرت‌انگیز عملکرد را بهبود می‌بخشند.

در مواجهه با چنین مدرک قانع‌کننده‌ای، طرفداران این نظریه قدیمی ممکن است اعتراف کنند که مدل‌های کینز-هیل ممکن است کاملاً صحیح نباشد. علم قرار است که یک فعالیت مودبانه باشد که توسط گروهی از اشخاص فراتر از اساس اصل احترام به عقاید مختلف و برای رسیدن به یک هدف واحد و همچنین یک حقیقت مطلع انجام می‌شود. متأسفانه گاهی جهان واقعیت اینگونه نیست، دانش نوین و به طور خاص علوم ورزشی نوعی جنگ است که در دو طرف آن مردان و زنانی با درجات خود بزرگ بینی متفاوت حضور دارند، آن‌هایی که بیشتر از عقاید خود مطمئن هستند بیشتر متخاصم هستند.

دکتر توماس رولند^۲ متخصص قلب کودکان و یک ورزشکار لاغر اندام است که در تمام طول عمرش ورزش کرده است. چهارچوب کوچک و خطی بدنش، او را به عنوان یک شخص دارای بدنی اکتومورف^۳ معرفی می‌کند. براساس گفته‌های ویلیام شلدون^۴ روانشناس برجسته‌هاروارد در دهه ۱۹۴۰، ویژگی بارز یک بدن نحیف و کشیده، ظرفیت بیشتر برای تفکر عمیق و عکس‌العمل فوری است. شکسپیر^۵ متوجه شد که نیاز آن‌ها به تفکر و فهمیدن عمیق‌تر، آن‌ها را در یک گوشه

1. Amphetamines
2. Thomas Rowland
3. Ectomorph
4. William Sheldon

5. Shakespeare

جامعه قرار می‌دهد. جولیوس سزار^۱ در مورد کاسیاس^۲ که نقشه ترور او را برنامه ریزی کرده بود، اینگونه می‌گوید:

کاسیاس لاغر اندام است و یک نگاه گرسنه دارد، او بسیار فکر می‌کند، چنین مردانی خطرناک هستند. او فکر می‌کند که بسیار بهتر است که اطرافیانش اشخاصی شکم گنده و بدون تفکر باشند؛ به من اجازه دهید که افرادی چاق در اطراف من باشند، مردمانی بدون تفکر که همیشه در خوابند. در کتاب ساعت ورزشکاران، توماس رولند نه تنها از ما نمی‌خواهد که یک امپراتور مستبد را ترور کنیم، بلکه ما را دعوت می‌کند تا تعدادی از مفاهیم بسیار سطحی یک انسان ورزشکار را مورد سوال و کنکاش قرار دهیم. او آرزو می‌کند که متوجه شویم که چگونه تحقیق در علوم ورزشی به ما کمک می‌کند تا زمان، سالمندی، ساعت‌های زیستی درونی^۳ و تنظیم کننده‌های درگیر مانند منوالی مرکزی^۴ (CPG) را که عملکرد ورزشی شخص را تحت تاثیر قرار می‌دهند، بهتر بفهمیم.

سوال‌های او اینها هستند. آیا تلاش بدنی در طول زمان عملکرد ورزشی زیر نظر تنظیم هوشیارانه و خودآگاهانه ورزشکار را دارد؟ یا اینکه تنظیم‌های ناخودآگاه که در مورد آن‌ها اطلاعات کمی داریم تعیین می‌کند که چه شخص می‌تواند به خوبی در ورزش عمل کند. بنابراین او این سوال را مطرح می‌کند: آیا نیرهای سرنشت‌ها از همان زمان به پایان رساندن رقابت‌های ۱۰ کیلومتر جاده زیر نظر تنظیم خودآگاهانه می‌تواند قرار دارد؟

رولند با ارائه دادن مدارکی از مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که شیوه تنظیم سرعت در تمرینات و رقابت‌های طولانی مدت استقامتی ممکن است توسط تنظیم کننده‌های ناخودآگاه تنظیم شوند که در نتیجه موجب ایجاد نشانه‌های ناخوشایندی می‌گردد که ما آن‌ها را به نام حالت خستگی می‌شناسیم. او می‌پرسد که آیا تمام این احساسات از بخش‌های ناخودآگاه مغز ایجاد می‌شود که با دریافت اطلاعات فیزیولوژیکی در بردارنده فشار تمرینی بالا، سینه‌ها، کمر و نیروی انقباضی عضلات شده و تمایل به ادامه مسیر را در ورزشکار به خاطر حفظ سلامتی شخص از بین می‌برد؟ او اعتراف می‌کند که تعداد کمی دانشمند ورزشی و حتی تعداد کمتری ورزشکار وجود دارند که از این نظریه استقبال کنند که ورزشکاران به طور کامل عملکرد ورزشی خود را تحت کنترل ندارند. او در پاسخ، تعدادی از مدارک جدید را ارائه می‌دهد که به خواننده اجازه می‌دهد که به یک عقیده آگاهانه‌تر برسد.

عملکرد تنظیم کننده‌ها، اداره کردن تواتر و توان انقباض‌های عضلانی است که در دویدن از آن‌ها به عنوان تواتر گام و طول گام نامبرده می‌شود. دوندگان این تنظیم را باعمل بر روی مولد الگوی مرکزی که تواتر و طول گام و در نتیجه سرعت را تنظیم می‌کنند به دست می‌آورند. این توضیح ساده یک تحول عظیم است. طرفداران مدل‌های کینز و هیل در این باره که چگونه ممکن است مولد الگوی مرکزی عملکرد ورزشی را تنظیم کند سخن نمی‌گویند، بلکه درباره این موضوع که چگونه منابع مغذی قلب، عملکرد عضلات در حال تمرین را به گونه‌ای تنظیم می‌کنند که سریع گام برداشتن ورزشکار را به وجود آورند سخن می‌گویند.

مولد الگوی مرکزی یک توسعه عظیم و منحصر به فرد برای انسان‌های ورزشکار نیست، بلکه تنظیم کننده‌ها - مثلاً می در مغز جانداران کهن مانند سوسک‌های کوچک حمام نیز وجود دارند. جادوی مولد الگوی مرکزی در این است که همیشه کارآمدترین ترکیب را از تواتر و توان انقباضی، بدون توجه به نوع فعالیت، پیدا می‌کند، شنا کردن یا دوچرخه سواری و شرایط تمرینی انتخاب می‌کند. مولد الگوی مرکزی این کار را بدون هیچ نیازی به نیروی خودآگاه انجام می‌دهد، هر چند که ممکن است محدودیت‌هایی برای انتخاب هوشیارانه جهت تاثیر بر عملکرد مولد الگوی مرکزی در زمان کم وجود داشته باشد.

اما در مورد سرعت حداکثر چه؟ آیا اوج توان آتشیاری (ناخودآگاه) مولد الگوی مرکزی می‌تواند تعیین کند که اشخاص تا چه حد می‌توانند در مسافت دوی ۱۰۰ متر سریع بدوند؟ احتمالاً بدین سادگی نیست، چون نقش عضلات دونده سرعت در تولید نیروی مورد نیاز برای به جلو راندن بدن محاسبه نشده است. عضلات ضعیف و مولد الگوی مرکزی دقیق سریع، هنوز زمان دویدن ۱۰۰ متر آهسته ای را ایجاد می‌کنند، اما همانند دوندگان استقامت، دوندگان دوی ۱۰۰ متر سرعت نیز باید سرعت گام برداشتن خود را تنظیم کنند. بر اساس محاسبه، باید در روی یک دونده سرعت کارایی به نام استیون هیدلی شما فقط برای ۴ یا ۵ ثانیه می‌توانید به تمام توان بدوید، هیدلی می‌گوید واقعاً نمی‌دانم چه چیزی سبب می‌شود که در پایان مسیر سرعت من کم شود، حتی من در جریان مسابقه از آن کاهش سرعت نیز اطلاعی ندارم. آیا این مورد مثال دیگری از تنظیم ناخودآگاه بر روی عملکرد ورزشی است؟

مدرک روشن برای تنظیم‌های ناخودآگاه که به خوبی تعریف شده اند، به وسیله تغییرات شبانه روزی (۲۴ ساعت) در عملکرد ورزشی انسان فراهم شده است. حتی مثال‌های بهتر عکس العمل - های بازیکنان در رقابت‌هایی است که با حرکت سریع توپ مثل بیسبال، تنیس و کریکت سرو کار

دارند. ورزش‌هایی که در آن‌ها توپ باید بر اساس سرنخ‌های از پیش فرستاده شده زده شود که در بخش‌های ابتدایی پرواز توپ اتفاق می‌افتد، و در آن‌ها اعمال خودآگاه هیچ نقشی ندارند. در تمام این ورزش‌ها زننده ضربه باید زمانی به توپ ضربه بزند که مکان دقیق توپ را در فضا نمی‌داند (به خاطر اینکه اساساً توپ را در آن لحظه نمی‌بیند). شگفت اینجاست که انسان‌های کمی وجود دارند که بتوانند این اعمال به ظاهر غیرممکن را موفقیت‌آمیز انجام دهند.

دکتر توماس رولند کتاب جادویی فوق را که هم به موقع و هم تحول ساز بوده نوشته است. آرزوی من این است که این کتاب ذهن را به سوی احتمالات جدید باز کند. اینکه ما اطلاعات بسیار کم درباره عوامل تنظیم‌کننده عملکرد ورزشی انسان داریم پیام پنهانی این کتاب پیشرو و بدعت‌آور است. این پیامی است که دانشمندان ورزشی باید آن را جدی بگیرند اگر قرار است این دانش منتر که هدف آن کشف حقیقت و نه پنهان کردن آن است پیشرفت کند.

دکتر تیم نواکس^۱

استادحوزه سلامت، در فعالیت بدنی و علوم ورزشی

دانشگاه کیپ تاون^۲ و مؤسسه علوم ورزشی در آفریقای جنوبی

ما در همه زمان‌ها مسافرانی هستیم که بر روی یک جاده ثابت که ما را به آینده‌های دورتر منتقل می‌کند حرکت می‌کنیم.

میشل لاکوود^۱ در پیچ و خم زمان سال ۲۰۰۵

سلام بچه‌ها ساعت چنده؟

بوفالو باب^۲ در حدود سال ۱۹۵۲

ساعت در حدود چهار بود من خیلی متعجب نشده بودم که او دیر کرده بود. من منتظر دیدار دوست دین جگی ام بودم که از مدت‌ها قبل او را ندیده بودم. به جای آمدن از میشیگان، بیشتر به نظر می‌آمد که را از یک بعد زمانی کاملاً متفاوت آمده باشد. جان دوست خوبی در دبیرستان برای من بود، اما بعد از اراغ التحصیلی زندگی او به گونه ای عجیب و غیر منتظره دگرگون شد، شاید شرکت او در آشوب‌های سال ۱۹۶۸ بود که سبب شد جان بطور ناگهانی از جامعه انسانی فاصله بگیرد و به یک انبار در لاور پنسوانیا نقل مکان کند و آینده امیدبخش خود را ترک کند و تا حالا نیز آنجا مانده است.

به اندازه کافی درباره او شنیده بودم که انتظار رفتارهای عجیب را از او داشته باشم. برای مثال او اصرار داشت که در فضای آزاد بخوابد و به گفته خود جادو را از دست ندهد. اما چیزی که انتظار آن را از این شخص نداشتم این بود که این فرد ریشو که دارای روح سرزنده ای بود، بلافاصله بعد از رسیدنش، به تمام اتاق‌ها رفت و تمام ساعت‌ها را با حوله و لباس پوشاند. به نظر می‌رسید که قرار بود آخر هفته را بدون اطلاع از گذر زمان بگذرانیم. (طرز تفکر او جدید نبود. یک فیلسوف قرن ۱۸ به نام جین جاکوس روسوا^۳ بخاطر محدودیت‌های ناشی از زمان، تمامی ساعت‌هایش را دور انداخته بود. در مورد این فیلسوف جالب است بدانیم که عمل این فرد رفتارهای عجیب و غریب

1. Michael Lockwood

2. Buffalo Bob

3. Jean Jacques Rousseau

اجتماعی دیگری نیز به دنبال داشت که منجر به جنون پیشرفته و در نهایت دیوانگی همراه با مرگ در وی گردید).

من ذهنم بهم ریخته بود، چگونه قرار است بدانیم که کی باید شام بخوریم؟ کی بخوابیم؟ و کی کافی شاپ باز می‌شود تا صبحانه خود را در آنجا بخوریم؟ ما نمی‌توانستیم بدانیم که لازانیا چه مدت زمانی در حال آماده شدن بوده است، یا اینکه کی قرار است دوستان خود را در سینما ببینیم. چیزی که در این شرایط و با حضور این میهمان بدون زمان اهمیت می‌یافت این بود که چگونه می‌دانستیم که کی قرار است جان از این جا برود؟

برای سه روز من کاملاً گیج و آشفته بودم، اما بدون شک این آخر هفته برای من یک درس داشت. کسانی از ما که خود را به مسیر معمولی زندگی چسبانده ایم بردگان زمان هستیم و بدون زمان زندگی مان کاملاً سرگردان و بی هدف خواهد بود. (از خوانندگان ماجراجو دعوت می‌شود که این تجربه را امتحان کنند و ببینند به حالی دارد که تکنوازی پیانو دخترتان را از دست بدهید یا یکی دو استیک را بسوزانید).

مفهوم زمان

بطور کلی واژه زمان از لحاظ لفظی کلمه‌ای بالارزش است. در حقیقت زمان محدودیت‌هایی را در زندگی ما بر روی این سیاره می‌سازد. از لحظه تولد ما تا لحظه شش سالگی از ساعت شنی شروع به افتادن می‌کنند و تا لحظه خروجمان از این دنیا ادامه پیدا می‌کند. ما برای هر کاری که انجام می‌دهیم زمان را مشخص می‌کنیم. خوابیدن، خوردن، کار کردن و به تعطیلات رفتن. قطعاً هیچ عامل دیگری اینگونه وجودمان را تعریف نمی‌کند.

شکی نیست که بزرگترین متفکران، فیلسوفان، ریاضی دانان، شاعران، عارفان و فیزیک دانان در طول تاریخ برای درک طبیعت زمان تلاش کرده اند. زمان چیزی است که همه ما درباره آن می‌دانیم. اما زمان چیست؟

ارسطو^۱ از نخستین کسانی بود که زمان را به عنوان یک ویژگی اساسی عالم در نظر گرفت. از این نقطه نظر زمان به صورت خطی و مداوم و بدون تأثیرپذیری از عوامل خارجی به جلو پیش

می‌رود. مهم نیست که چکار می‌کنید، زمان همچنان به پیش می‌رود. زمان مانند یک خط مستقیم هندسی است. در اینجا شبیه سازی زمان به یک ساخت ریاضی، طبیعت مطلق و فیزیکی زمان را نشان می‌دهد.

این عقیده متداول بود زیرا آنچه مردم در جلوی چشمانشان می‌دیدند مانند تنظیم جزر و مد، فصل‌ها، مهاجرت پرندگان و به صورت خاص‌تر حرکت ماه و خورشید و ستارگان در آسمان را منعکس می‌کرد. این مفهوم زمان به عنوان یک تسلسل آرام، بعدها در ساختن ساعت تجسم یافت که زمان را با توجه به وقایع نجومی تعریف می‌کرد. این وسیله مدرن محاسبه زمان، بعدها فوق العاده دقیق شد. از مشاهدات دقیق نجومی تا تواتر ارتعاش اتم سزیم،^۱ یک ساعت با دقت ۵ در ۱۰ میلیون میلیون یعنی با دامنه خطایی در حدود $1/0.000000$ ثانیه در روز.

عده ای دیگر تبدیل دائمی زمان را از دیدگاه تجربه بشری بنگرند (وابسته به روان شناسی یا زمان باطنی). در مقایسه با سایر حیوانات به انسان این لطف شده است که قادر به حس زمان باشد. این امر هیچ جا واضح تر از زمانی نیست که شما برای پروازی که سه ساعت تاخیر دارد منتظر باشید. زمان باطنی البته می‌تواند بسیار سریع‌تر حرکت کند، مثل زمانی که شما از بودن در کنار دوستانتان در یک میهمانی احساس خمشا می‌دارید و یا از برنده شدن در یک بازی تنیس لذت می‌برید (بعنوان زمان دوست داشتنی ۴۰ صبقه بندی می‌شود). شما به سختی می‌توانید خود را قانع کنید که شیب زمان در فرودگاه و همچنین در یک زمین تنیس یکسان است (زمان در فرودگاه به آهستگی جلو می‌رود و در زمین تنیس به سرعت). اما از دیدگاه آزمایشگاه نیروی دریایی در شهر واشنگتن که حافظ زمان نجومی است هیچ تفاوتی بین گذر زمان طبیعی و دوست داشتنی ۴۰ وجود ندارد.

همچنین به زمان می‌توان از دیدگاه توالی نگاه کرد. گاتفرید لیبینز^۲ که در بین سال‌های ۱۶۴۶ تا ۱۷۱۶ می‌زیسته و حساب دیفرانسیل و انتگرال و همچنین سیستم مضاعف را که رایانه‌های امروزی بر اساس آن شکل گرفته اند را اختراع کرده است اینگونه به زمان نگاه می‌کرد. بر اساس تفکروی که نظریه نسبی زمان^۳ نامیده می‌شود، رویدادها در زمان به وقوع نمی‌پیوندند، بلکه راه

دیگری وجود دارد. زمان به وسیله ترتیبی که رویدادها در آن اتفاق می افتد تعریف می شود. بر اساس این تفکر رویدادها و نه زمان به اساس وجودی تبدیل می شوند. این عقیده مخالف نظریه ای است که زمان را یک واقعیت فیزیکی، تغییرناپذیر و مستقل می داند.

شما به راحتی می توانید یک کتابخانه کامل را با آنچه درباره طبیعت زمان تا کنون نوشته شده است، پر کنید (کسانی که یک منبع مختصر می خواهند می توانند به کتاب زمان چیست؟ اثر مولف انگلیسی وایترو^۱ در سال ۱۹۷۲ از انتشارات آکسفورد مراجعه نمایند). در میان آن ها موارد جالب فراوانی وجود دارد. تفکر انیشتین^۲ برخلاف در نظر گرفتن زمان به عنوان یک فرایند مطلق است. بر اساس این دیدگاه مسیر زمان براساس موقعیت و سرعت فردی است که به ساعت نگاه می کند. در واقع سازه ای که با سرعت فراوان حرکت می کند با توجه به شخص ممکن است آهسته به نظر برسد. این دیدگاه یا دیدگاه مطلق و مستقل بودن زمان متناسب نیست. آن ها می گویند که زمان به جای مطلق و غیرقابل تغییر بودن به سرعت بستگی دارد، بنابراین آن ها بیشتر از دیدگاه نسبی بودن زمان لیبیتز حمایت می کنند. (اگر زمان، که سرعت ماشین ولوو شما به سرعت نور نرسیده است این استدلال در حد نظریه و غیرعملی باشد می ماند).

سپس این سوال راجع به جهت زمان پیش می آید. آیا زمان می تواند به عقب باز گردد؟ با توجه به تجربیات امروزه ما، این امر مقداری نامعقولانه به نظر می رسد. شما نمی توانید غذای چینی مادرزنتان را که بر روی زمین ریخته اید به حالت اول در آورید. همچنین سخن نیشداری که در مجلس میهمانی به رئیس خود گفته اید را نمی توانید به دهان خود برگردانید.

گروه دیگر آنچنان هم مطمئن نبودند. قوانین فیزیکی حرکت مانند کار می تواند به خوبی حرکت رو به جلو و یا معکوس داشته باشد. برای مثال اگر شما از یک سامانه متناظر قانون های مکانیکی نیوتن^۳ فیلم بگیرید، اگر فیلم بعداً به عقب برگردانده شود شما قادر به تشخیص آن نخواهید بود. نه تنها می توان موقعیت آینده سیاره های منظومه شمسی را بررسی کرد بلکه جایگاه آن ها را در گذشته نیز می توان مورد پایش قرار داد. در قوانین فیزیک برای فرایندهای فیزیکی هیچ جهتی بدون توجه به زمان وجود ندارد.

در حقیقت سوال در مورد جهت حرکت زمان دقیقاً مورد بررسی قرار گرفته و چندین کتاب به طور کامل به این موضوع اختصاص داده شده است (۱). در نهایت به نظر می‌رسد که انتظارات عمومی درست از آب در آمده باشد. بررسی کنندگان این موضوع به صورت کلی به این نتیجه رسیده‌اند که علی‌رغم وجود برخی رویدادهای تخیلی در فیلم‌ها و داستان‌ها درباره برگشت به عقب، نمی‌توان مسیر زمان را برعکس کرد. قویترین بحث درباره حرکت زمان از قانون دوم ترمودینامیک^۱ می‌آید که می‌گوید درجه بی‌نظمی یا انتروپی^۲ در یک سیستم به صورت تابعی از زمان افزایش می‌یابد. سیستم‌ها بیشتر نامنظم می‌شوند و معکوس نیز نخواهند شد و همانطور که می‌توان پیش‌بینی کرد اجسام پایین می‌آیند و فرو می‌ریزند. دلیل دیگر یک جهته بودن حرکت زمان، در تغییر و تحول‌های زیستی است. ترتیب تاریخی رویدادهای زمین‌شناختی و تعداد زیادی از رویدادهای نجومی مانند طالع‌سار ستاره‌ها و گسترش کیهان در این زمینه مشاهده شده است. جنبه جذاب دیگر درباره زمان، جهت خطی حرکت و تسلسل آن است و چیزی به نام واژه حال وجود ندارد. همانند همتایش در فضا، نقطه نشان دهنده حال بدون بعد یا جهت است که آن در حقیقت وجود ندارد. به محض اینکه شما نقطه‌ای را به عنوان حال در نظر بگیرید بلافاصله به گذشته تبدیل می‌شود. بر خلاف آنچه درباره نقطه به زیاد گرفته اید مثل زندگی برای لحظه حال. بنابراین شما نمی‌توانید برای لحظه حال زندگی کنید چون اساساً لحظه حال وجود ندارد. تنها گذشته و آینده وجود دارد و همانگونه که کای کراوس^۴ نتیجه گرفت است: همه چیز درباره انتظار از لحظه، خاطره لحظه است نه خود لحظه.

تنها راهی که می‌شود به توقف زمان فکر کرد این است که به حالت زمان بین دو نقطه در فاصله بسیار کم و در زمان فوری نگاه کرد. بدین معنا که فرضاً من دانشجوی دانشگاه نیومکزیکو هستم. به این صورت واژه حال به یک حالت و شرایط تبدیل می‌شود و من می‌توانم تا ابد دانشجوی باقی بمانم و نظریه زمان را ثابت کنم.

و در نهایت به خاطر ارتباط بسیار نزدیکی با وجود انسان، جای تعجب نیست که شاعران و فیلسوفان اینگونه بیش از حد درباره ارزش زمان گفته‌اند. این هم نقل قولی از فرناندو پسوا^۵:

1. Second Law of Thermodynamics

2. Entropy

3. Zen Theory

4. Kai Krause

5. Fernando Pessoa

من به شدت از گذر زمان ناراحتم. همیشه یک هیجان و حس مبالغه شده در من با ترک چیزی در پشت سرم به وجود می‌آید. هر چه که باشد اتاق خواب کرایه ای که برای چند ماه در آن زندگی کردم، میز شامی که در هتل ایالتی برای شش روز بر روی آن غذا خوردم، حتی اتاق غمگین انتظار در ایستگاه راه آهن که در آن دو ساعت برای آمدن قطار انتظار کشیدم. بله نبود آن‌ها من را ناراحت می‌کند. اما در زندگی وقتی من این چیزها را پشت سر می‌گذارم و با تمام عصب‌هایم، حس می‌کنم که قرار نیست دوباره آن چیزها را حداقل در آن لحظه بینم از نظر ماوراء طبیعی^۱ ناراحت می‌شوم. یک شکاف در روح من ایجاد می‌شود و یک نسیم سرد از طرف پروردگار بر چهره رنگ پریده من شروع می‌کند و زیدن می‌کند (۲).

زمان تدریمی^۲، مقابل زمان فیزیولوژیکی

در سال ۱۸۸۴، کمی از منجمان بین المللی در شهر واشنگتن دور هم جمع شدند تا مناطق زمانی را برای تمام سال جهان به زمان استاندارد تبدیل کنند. هدف آن‌ها حذف بی نظمی و سردرگمی بود که تلاش ساکنان هر موقعیت جغرافیایی را برای ساختن واحد اندازه گیری زمان منحصر به فرد خود آن منطقه ایجاد کرده بود. برای مثال، ایالات متحده هر شرکت راه آهنی زمانبندی ورود و حرکت قطارها را بر اساس زمانبندی استاندارد خود تنظیم کرده بودند. یک سال قبل از این تجمع تاریخی، ۱۰۰ زمان بندی مختلف برای شرکت‌های راه آهن وجود داشت.

جهان به ۲۴ منطقه زمانی طولی جغرافیایی تقسیم شد. ما با هم هماهنگ شویم. نقطه شروع خط نصف النهار مبدأ یا همان خط گرینویچ^۳ بود که از کدور انگلستان و در حوالی شهر لندن آغاز گردید. (ممکن است اگر شخصی امروز این نقطه را بازدید کند اطلاع از این چیزی عجیب و غریب مثل یک خط درخشان زرد که بر روی زمین از شمال تا جنوب امتداد دارد را داشته باشد اما چیز خاصی در این نقطه وجود ندارد). آنچه در پایتخت ایالات متحده شکل گرفت ایده کلی بابلی-هایی بود که هزاران سال پیش زندگی می‌کردند. این تفکر شامل تقسیم کردن روز به ۲۴ ساعت، تقسیم کردن هر ساعت به ۶۰ دقیقه و تقسیم کردن هر دقیقه به ۶۰ ثانیه بود. البته همه اینها به رویدادهای نجومی که تعریف کننده زمان تقویمی تنظیم کننده زندگی ماست بستگی دارد.

1. Metaphysically
2. Chronological Time
3. Greenwich

فعالیت‌های زیستی^۱ در یک حالت موزون تغییر می‌یابند به گونه ای که تقریباً شبیه زمان تقویمی است. دمای بدن، ضربان قلب و فشار خون در طول دوره‌های زمانی مشخص کم و زیاد می‌شوند. بعضی از این زمانبندی‌های شبانه روزی تأثیر مستقیمی بر عملکرد ورزشی دارند. در فصل چهارم این پدیده را بیشتر مورد بررسی قرار می‌دهیم.

نوع دیگری از ارتباط عملکردهای زیستی به مسیر زمان، مدت زمانی است که فرآیندهای زیستی در آن به وقوع می‌پیوندد. دانشمندان در تلاش‌های خود برای تعریف دنیای واقعی که ما آن را می‌بینیم، خود را به بررسی وظایف و ساختارهای زیستی در واحدهای دقیق سه بعدی مانند اندازه گیری با گرم، در و لیتر تطبیق داده اند. به هر حال شناخت یا وجود زمان بعنوان مولفه چهارم گسترش می‌یابد. که نقش حیاتی در چگونگی عملکرد سیستم‌های زیست شناختی، ایفا می‌کند. بطور خیلی ویژه، بدنی است که این عملکرد باید در واژه مدتی که آن اتفاق می‌افتد، بیان گردد. فعالیت‌های عملکردی بدن مانند تعریق، سوخت و ساز سلولی یا میزان خون تصفیه شده توسط کلیه در تولید ادرار در یک سلسله مشخصی از شدت که با زمان ارتباط دارد اتفاق می‌افتد. سپس با استفاده از همین مثال‌ها ما می‌توانیم درباره میزان میلی لیترهای عرق که در دقیقه تولید شده یا میزان اکسیژن مصرف شده در سوخت و ساز سلولها براساس لیتر بر دقیقه و یا میزان ادرار تولید شده براساس میلی لیتر بر ساعت صحبت کنیم. به همین طریق ما می‌توانیم درباره فرآیندهای زیستی عظیم‌تری که زمان آن‌ها را تعریف می‌کند مانند خواب، عمر و زمان بوجود آمدن یک نسل کامل (زمان بین لحظه آبلتن شدن مادر تا زمانی که فرد قادر به تولید مثل باشد) صحبت کنیم. ما می‌توانیم محدودیت‌های چنین عملکردهایی را تعریف کنیم، آن‌ها را در بین افراد مختلف مقایسه کنیم و عملکردهای غیرطبیعی مانند شرایط بیماری را معین نماییم. می‌توانیم تمام این کارها را با بررسی مدت واقع شدن این فعالیت‌ها نسبت به زمان انجام دهیم.

در عین حال چندان عجیب نیست، اما حال یک نکته شگفت انگیز وجود دارد. میزان این اعمال با زمان تقویمی یا روی دادن اتفاقات یکی پس از دیگری هیچ ارتباطی ندارد و آن‌ها به گونه ای خط گرینویچ را فراموش کرده اند. مشخص شده است که این اعمال به وزن یا توده بدن بستگی دارند. هر چقدر شما بزرگتر باشید این وظایف نسبت به زمان آهسته‌تر انجام میگیرد و در نتیجه مدت

زمان بیشتری طول می کشد تا اتفاق بیفتد. میزان ضربان قلب برای جانور حشره خوار (شرو^۱) که ۲/۵ گرم وزن دارد ۱۰۰۰ بار در دقیقه است، در حالی که میزان ضربان قلب برای فیل ۳۰ ضربه و برای انسان ۷۰ ضربه در دقیقه می باشد.

چنین چیزی نیز درباره میزان انرژی مصرفی در سلول های پستانداران در طول فرآیندهای سوخت و سازی با توجه به اندازه حیوانات وجود دارد. بدین معنا که هر چقدر جانور کوچک تر باشد فرآیندهای سوخت و سازی او نیز شدیدتر است. انرژی روزانه سوخت و ساز یک موش ۳۰ گرمی در حدود ۱۷۰ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم از وزن بدنش است، در حالی که این رقم برای یک گاو ۳۰۰ کیلوگرمی ۱۷ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم از وزن بدنش می باشد. هر فرآیندی در بدن جانداران کوچک تر، سریع تر از جانداران بزرگتر اتفاق می افتد. در واقع می توان گفت که این ساعت تقویمی نیست که سرعت فعالیت فیزیولوژیکی را تعیین می کند بلکه اندازه بدن است (۳).

ما می توانیم ارتباط بین مدت زمان، وظایف فیزیولوژیکی و توده بدن را توسط یک معادله ریاضی که به آن فرمول آلومتریک گفته می شود بیان کنیم:

$$Y=aM^b$$

در اینجا Y فرآیندهای زیستی مانند میزان بیهوشی خون پمپ شده در دقیقه و یا زمان بین تنفس ها می باشد. حرف M توده بدن است. حرف b عدد ثابت تناسب است و b که مهمترین عامل می باشد فاکتور اندازه است که مشخص کننده میزان و جهت ارتباط بین تغییرات ایجاد شده در متغیر Y و توده بدن خواهد بود. عدد یک برای b نشان می دهد که میزان عملکرد زیستی در ارتباط مستقیم با توده بدن قرار دارد یعنی اگر به یکی اضافه شود به دیگری نیز اضافه خواهد شد. این درباره میزان تنفس صحیح خواهد بود. برای مثال اگر حیوان ۱۰ کیلوگرمی ۱ بار در دقیقه تنفس کند، پس یک حیوان ۴۰ کیلوگرمی ۸۰ بار در دقیقه نفس خواهد کشید. اگر b برابر با صفر باشد، توده بدن ارتباطی با فرآیندهای Y نخواهد داشت. عددهای بین صفر و یک به ما می گویند که فرآیندهای زیستی Y با توده بدن ارتباط دارد، همچنین به ما متذکر می شود که با اضافه شدن به اندازه حیوان، میزان Y سریعتر از توده بدنی افزایش می یابد.

چیزی که جالب توجه است این است که با در نظر گرفتن عملکردهای متفاوت زیستی در گروههای مختلف حیوانات، می‌توان گفت یک فراوانی قابل توجه اعداد برای اندازه توده بدن به توان b وجود دارد که تقریباً برابر $۰/۲۵$ است. در حقیقت ویلیام کالدر^۱ قادر به پیدا کردن ۴۰ معادله آلومتریک^۲ در یک نوشته تحقیقی بود که مدت زمان فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف را با توجه به توده بدن در جاندارانی که در همه آنها عدد b بین $۰/۲۵$ و $۰/۳۹$ قرار داشت را بدست آورد که تعدادی از آنها به عنوان نمونه در جدول ذیل آورده شده است.

با بررسی این لیست می‌توان به امر جالب توجه دیگری نیز دست یافت. برای یک شخص در این لیست نمی‌توان محصوراً عدد ثابت یک چهارم توان محاسبه شده را تعریف کرد (عدد b برابر $۰/۲۵$ است). همچنین به خاطر اینکه اعمال زیستی گوناگون و متنوعی وجود دارد در واقع در نگاه اول به نظر می‌رسد که ارتباط ساختاری آشکاری باهم نداشته باشند. برای مثال چگونه می‌توان میزان تصفیه ادرار در کلیه را با تعداد ناگهانی عضله نعلی^۳ ارتباط داد؟ یا اینکه چه ارتباطی میان زمان رسیدن به بلوغ جنسی^۴ با زمان فرد وجود دارد؟ این عملکردها دارای چه چیز مشترکی هستند که همه آنها یک نوع ارتباط مشابه با توده بدن دارند؟