

فصل ۴: کینزیولوژی راه رفتن

به جای تماس پاشنه، از واژه جایگزین "تماس اولیه"^۴ استفاده می شود.

توصیف کننده های مکانی راه رفتن
Stride (معادل با یک سیکل گیت) عبارتست از توالی وقایعی که بین تماس های پشت سر هم پاشنه همان پا اتفاق می افتد. گام^۵ عبارتست از توالی وقایعی که در داخل تماس های پشت سر هم پاشنه پاهای مخالف رخ می دهد، برای مثال تماس پاشنه پای راست و تماس پاشنه پای چپ. بنابراین یک سیکل راه رفتن شامل دو گام است: یک گام چپ و یک گام راست. طول یک *Stride* و طول یک گام، از مهم ترین توصیف کننده های مکانی^۶ راه رفتن به شمار می روند (شکل ۲-۴). طول *Stride* عبارتست از فاصله بین دو تماس پاشنه متوالی از همان پا. در حالیکه طول گام عبارتست از فاصله بین تماس های پاشنه متوالی دو پای مختلف. برای ارزیابی تقارن راه رفتن بین اندام های تحتانی، طول گام های چپ و راست با یکدیگر مقایسه می شوند (شکل ۳-۴). زاویه پا^۷ (میزان *Toe-out*)، عبارتست از زاویه بین خط پیشروی بدن و محور بلند پا. این زاویه به طور متوسط حدود ۵ تا ۷ درجه است. زمانیکه سرعت راه رفتن در مردان افزایش می یابد، درجه *Toe out* کاهش می یابد. پهنای گام با پهنای قاعده راه رفتن با اندازه گیری فاصله خطی مابین نقطه میانی پاشنه یک پا و نقطه مشابه در پای دیگر بدست می آید (شکل ۴-۴). زمانیکه نیاز به افزایش ثبات طرفی^۸ باشد برای مثال در افراد مسن و بچه ها، پهنای قاعده راه رفتن افزایش می یابد.

مطابق با نظر Winter، طی راه رفتن ۵ هدف اساسی باید تامین شود:

- ۱- حفظ اتکاء سر، تنه و بازوها؛ یعنی جلوگیری از کلاپس اندام تحتانی
- ۲- حفظ پوسچر قائم و تعادل بدن
- ۳- کنترل مسیر حرکت پا؛ طوری که به هنگام حرکت پا در فضا، به صورتی ایمن از زمین دور مانده و موقع تماس اندام با زمین، پاشنه یا انگشتان به ملایمت فرود آورده شوند.
- ۴- تولید انرژی مکانیکی جهت حفظ یا افزایش سرعت حرکت رو به جلوی بدن
- ۵- جذب انرژی مکانیکی به منظور جذب شوک و ثبات و نیز کاهش سرعت حرکت رو به جلوی بدن

سیکل راه رفتن

راه رفتن شامل یکسری حرکات است که به شکل چرخه ای اتفاق می افتند. یک سیکل گیت^۱، واحد پایه ی راه رفتن را تشکیل می دهد (شکل ۱-۴). به محض تماس پا با زمین، سیکل راه رفتن آغاز می شود. چون به طور طبیعی تماس پا از طریق پاشنه اتفاق می افتد، بنابراین اغلب "تماس پاشنه"^۲ یا "برخورد پاشنه"^۳ به عنوان نقطه صفر یا آغازین سیکل راه رفتن اشاره می شود. نقطه ۱۰٪ یا خاتمه ی سیکل راه رفتن، زمانی است که همان پا مجدداً با زمین تماس حاصل می کند. زمانی که اولین تماس با زمین با قسمتی از پا (غیر از پاشنه) صورت پذیرد، اغلب

4. Initial Contact

5. Step

6. Spatial Descriptors

7. Foot Angle

8. Side to Side Stability

1. Gait Cycle

2. Heel Contact

3. Heel Strike

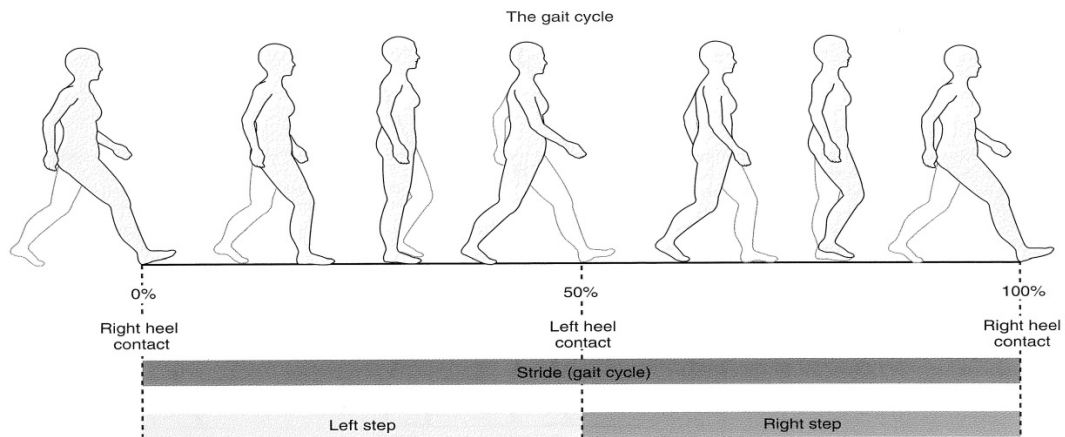
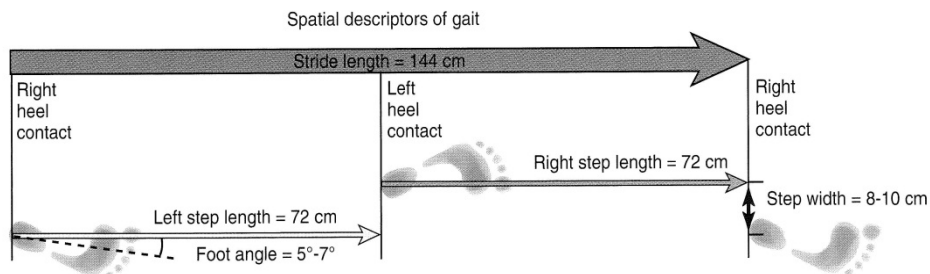
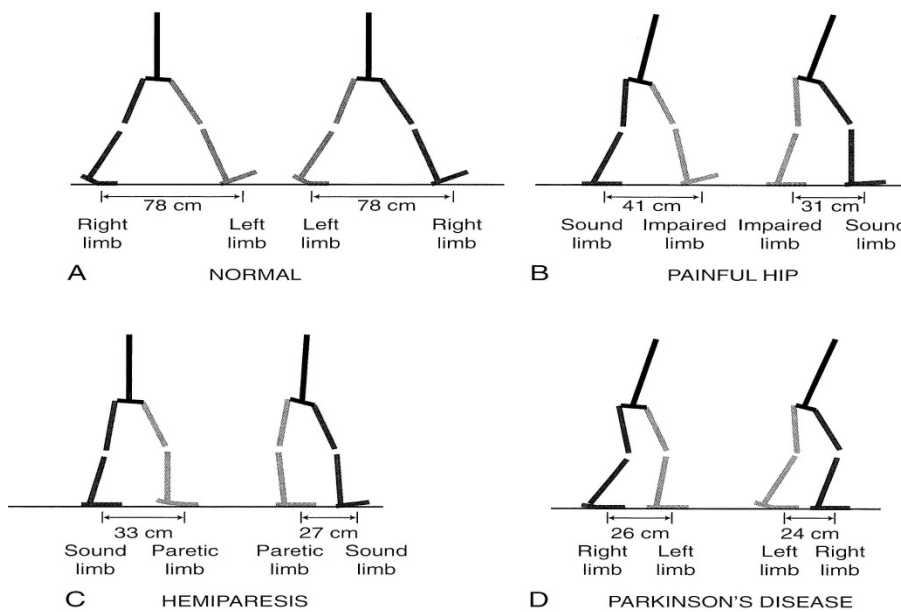


FIGURE 15-6. The gait cycle from right heel contact to subsequent right heel contact.

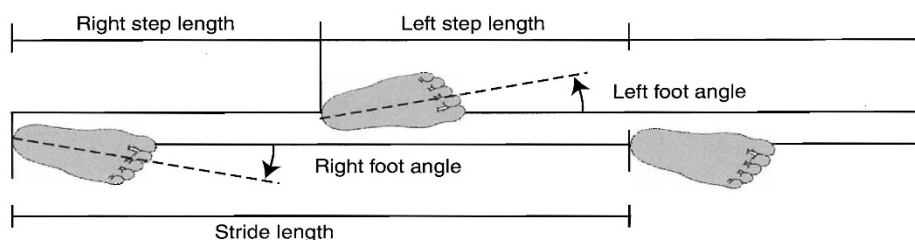
شکل ۱-۴: سیکل گیت از تماس پاشنه راست تا تماس بعدی پاشنه راست



شکل ۲-۴: توصیف کننده های مکانی راه رفتن و مقادیر معمول آنها برای یک سیکل گیت راست.



شکل ۳-۴: تاثیر اختلال و پاتولوژی روی طول گام. A: طول گام قرینه در یک فرد سالم نشان داده شده است. B و C، نمونه هایی از عدم قرینگی طول گام هستند و غالباً در افرادی دیده می شود که در یک اندام تحتانی دچار اختلال یا پاتولوژی شده اند. کوتاه شدن دو طرفه طول گام نرمال در هر دو مورد، نشان دهنده وابستگی اندام های تحتانی به هم در حین راه رفتن است. D: کاهش نسبتاً قرینه دو طرفه طول گام را نشان می دهد که اغلب هر دو اندام تحتانی را تحت تاثیر قرار می دهد.



شکل ۴-۴: طول Stride، طول گام، و پهنای گام نشان داده شده اند. برای اندازه گیری پهنای گام، نقطه میانی پاشنه به عنوان نقطه مرجع استفاده می شود.

سرعت راه رفتن^۴ شامل ترکیبی از اندازه گیری های زمانی و مکانی است که اطلاعاتی راجع به فاصله پیموده شده در مدت زمانی معین فراهم می آورد. به طور معمول واحد اندازه گیری عبارتند از: متر بر ثانیه (m/s) یا مایل بر ساعت (mph). با اندازه گیری زمان صرف شده برای پیمودن یک مسافت معین، یا با اندازه گیری فاصله طی شده در یک مدت زمان معین، یا با ضرب کردن نرخ گام در طول گام، می توان سرعت را محاسبه نمود. بسته به ویژگی های فیزیکی (مثل قد و وزن) و سن، سرعت راه رفتن در افراد بسیار متفاوت است. احتمالاً سرعت، بهترین و عملکردی ترین ملاک توانائی راه رفتن فرد باشد.

در بالغین سالم، یک سیکل راه رفتن (یعنی دو گام متوالی) کمی بیش از یک ثانیه زمان می برد و تقریباً ۱/۴۴ متر (۴/۵ فوت) پیموده می شود و سرعت راه رفتن ۱/۳۷ متر بر ثانیه (۳ مایل بر ساعت) خواهد بود. همچنین طول هر گام ۷۲ سانتی متر (۲۸ اینچ) و نرخ گام ۱/۸۷ گام در ثانیه معادل با ۱۱۰ گام در دقیقه، به عنوان مقادیر نرمال حین راه رفتن با سرعت ترجیحی آزاد گزارش شده اند. در راه رفتن با سرعت انتخابی آزاد، زنان نسبت به مردان، سرعت راه رفتن کند تر، طول گام کوتاه تر، و نرخ گام سریع تری دارند. این تفاوت ها احتمالاً تا حدودی به دلیل تفاوت های آنترپومتریک بین دو جنس می باشد. توصیف کننده های مکانی و زمانی راه رفتن در جدول ۱-۴ آمده است. برای افزایش سرعت راه رفتن دو راهکار وجود دارد: افزایش Stride، یا طول گام، و افزایش نرخ گام (شکل ۵-۴). معمولاً افراد هر دو

• در کودکان مرکز ثقل بدن در مقایسه با بالغین بالاتر قرار دارد و برای ثبات به یک قاعده اتکاء پهن نیاز است. در جمعیت نرمال، متوسط پهنای قاعده اتکاء حدود ۳/۵ اینچ با دامنه ۱ تا ۵ اینچ می باشد.

توصیف کننده های زمانی راه رفتن

از مهم ترین توصیف کننده های زمانی^۱ راه رفتن، Cadence است که تعداد گام در دقیقه می باشد و نرخ گام^۲ نیز نامیده می شود. از متغیرهای دیگر توصیف کننده زمانی راه رفتن عبارتند از: زمان Stride (زمان یک سیکل کامل گیت) و زمان گام (زمان تکمیل یک گام چپ یا گام راست). در صورت راه رفتن قرینه، زمان گام را می توان از نرخ گام استنباط نمود؛ یعنی زمان گام، معکوس نرخ گام برداری است.

• در سرعت معین، کوتاه تر بودن طول گام موجب افزایش نرخ گام^۳ می گردد. Lamoreaux دریافت زمانیکه یک شخص با ۸۰ تا ۱۲۰ گام در دقیقه راه می رود، Cadence و طول Stride با هم رابطه خطی دارند. زمانیکه شخص با نرخ گام بیشتر راه می رود مدت دوره اتکاء روی دو پا کاهش می یابد. زمانیکه نرخ گام به ۱۸۰ گام در دقیقه می رسد، دوره اتکاء روی دو پا ناپدید می شود و دویدن آغاز می گردد. به طور معمول نرخ گام برای مردان بالغ حدود ۱۱۰ گام در دقیقه و برای زنان حدود ۱۱۶ گام در دقیقه است.

1. Temporal Descriptors

2. Step Rate

3. Cadence

4. Walking Speed

استراتژی را ترکیب می کنند تا زمانی که به بلند ترین طول گام معقول دست یابند. از این نقطه به بعد، افزایش سرعت راه رفتن تنها با افزایش نرخ گام میسر می شود. باید به این نکته بسیار توجه داشت که تمامی مقادیر (اعم از متغیرهای مکانی، زمانی، کینماتیک، و کینتیک) بدست آمده از اندازه گیریهای راه رفتن، بسته به سرعت راه رفتن تغییر می کنند. لذا برای ارجاع دادن مطالب و تفسیر یافته ها، همیشه باید گزارشات داده های بدست آمده با اشاره به سرعت راه رفتن باشد که در آن داده های مذکور جمع آوری شده اند.

• واژه تندی^۱ یک کمیت برداری است که به جهت نیز اشاره دارد؛ گرچه اغلب به این نکته توجه نمی شود. اگر جهت گزارش نشود می بایست از واژه صحیح تر سرعت راه رفتن^۲ استفاده شود. زنان تمایل دارند تا در یک تندی یکسان، نسبت به مردان با گام های کوتاه تر و سریع تر راه بروند. افزایش سرعت تا ۱۲۰ گام در دقیقه هم بوسیله افزایش در Cadence و هم از طریق افزایش طول Stride حاصل می شود اما فراتر از ۱۲۰ گام در دقیقه، افزایش سرعت تنها از طریق افزایش Cadence حاصل می شود.

جدول ۱-۸: توصیف کننده های مکانی و زمانی راه رفتن

توصیف کننده	متغیر
زمانی	نرخ گام
	زمان Stride و زمان گام
مکانی	طول Stride، طول گام
	پهنای گام، زاویه پا
مکانی - زمانی	سرعت راه رفتن

مراحل سیکل راه رفتن

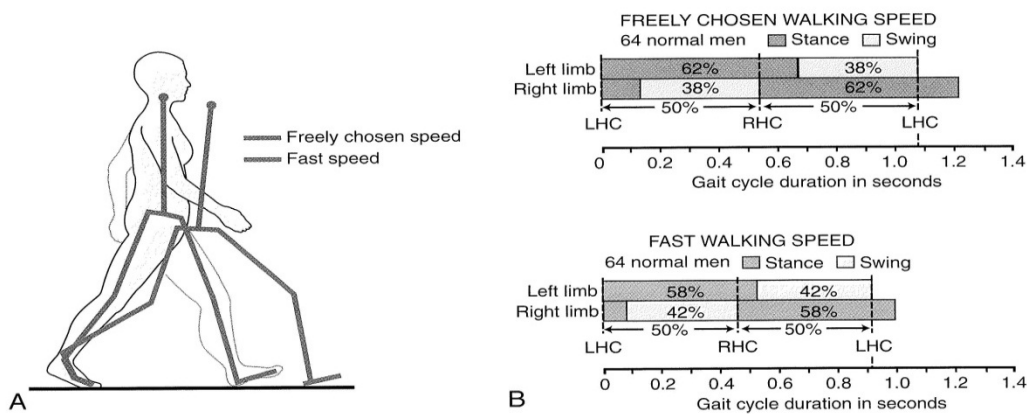
همان طور که پیشتر بیان شد، تماس پاشنه (یا پا) با زمین به عنوان شروع سیکل راه رفتن (نقطه ۰٪)، و تماس بعدی همان پا با زمین به عنوان نقطه پایانی سیکل راه رفتن (۱۰۰٪) در نظر گرفته

می شود. در تمام این فصل، اندام تحتانی راست به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. یک سیکل کامل راه رفتن برای اندام تحتانی راست شامل دو مرحله اصلی ایستایش^۳ و Swing است (شکل ۶-۴). مرحله ایستایش (از تماس پاشنه راست تا جدا شدن انگشتان^۴ راست)، دوره ای است که پای راست روی زمین بوده و وزن بدن را ساپورت می کند. در مرحله Swing (از جدا شدن انگشتان راست تا تماس بعدی پاشنه راست)، پای راست در هوا بوده و برای تماس بعدی با زمین به طرف جلو پیشروی می کند. طی راه رفتن با سرعت نرمال، مرحله ایستایش حدود ۶۰٪

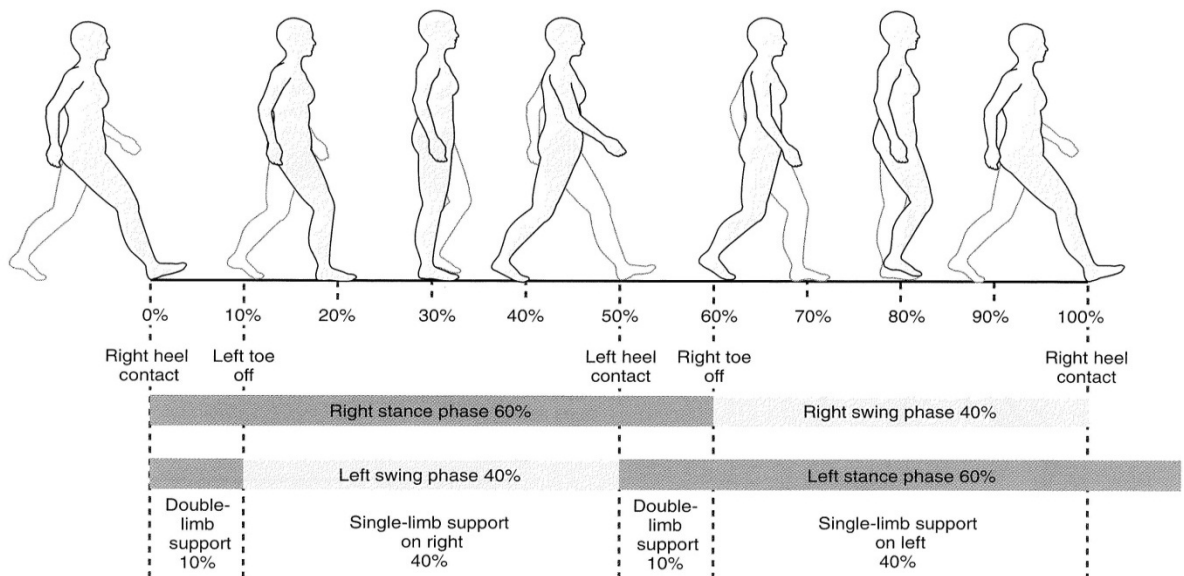
سیکل گیت و مرحله Swing ۴۰٪ باقیمانده را تشکیل می دهد. در داخل هر سیکل گیت، دو دوره اتکاء روی دو پا^۵ (همزمان هر دو پا با زمین تماس دارند) و دو دوره اتکاء روی یک پا^۶ (فقط یک پا با زمین تماس دارد) اتفاق می افتد (شکل ۶-۴). در راه رفتن با سرعت طبیعی، هر دوره اتکاء دو طرفه حدود ۱۱ درصد از سیکل گیت را شامل می شود، لذا تقریباً ۲۲ درصد از کل یک سیکل گیت را تشکیل می دهد. بنابراین تقریباً در حدود ۸۰ درصد از سیکل، بدن فقط به وسیله یک اندام حمایتی شود. دوره اول اتکاء روی دو پا در فاصله صفر تا ۱۰٪ سیکل گیت اتفاق می افتد. حین این دوره، وزن بدن از اندام تحتانی چپ به اندام تحتانی راست انتقال می یابد. سپس اندام تحتانی راست وارد دوره اتکاء روی یک پا می شود تا زمانی که به ۵۰٪ سیکل گیت برسیم.

3. Stance Phase
4. Toe off
5. Double Limb Support
6. Single Limb Support

1. Velocity
2. Walking Speed



شکل ۴-۵: روش های افزایش سرعت راه رفتن. A: برای افزایش سرعت راه رفتن، از طول گام های بلند تر استفاده شده است. B: برای افزایش سرعت راه رفتن، از دوره سیکل گیت کوتاه تر (سریع تر شدن نرخ گام) استفاده شده است. همچنین نشان داده شده که در سرعت های بالاتر راه رفتن، درصد کوچک تری از سیکل گیت در اتکاء روی دو پا صرف می شود (۱۶٪ در راه رفتن تند را با ۲۴٪ در راه رفتن با سرعت آزاد مقایسه کنید).



شکل ۴-۶: تقسیم بندی مراحل ایستایش و Swing سیکل گیت و دوره های اتکاء روی یک پا و روی دو پا.

تماس با زمین می ماند. برای این ورزشکاران، سرعت بیشتر با افزایش نرخ گام و طول گام، و به حداقل رساندن دوره اتکاء روی دو پا (تا نقطه ای که در آن زمان مرحله ایستایش و Swing تقریباً مساوی شوند) بدست می آید. حداکثر سرعت راه رفتن در افراد ۲۰ تا ۵۰ سال، تقریباً ۲/۴ تا ۲/۵ متر بر ثانیه (۵/۵ تا ۵/۷ مایل بر ساعت) است؛ در حالیکه سرعت راه رفتن حین راه رفتن تند می تواند به بیش از ۳/۳ متر بر ثانیه (۷/۵ مایل بر ساعت) برسد.

در حد فاصل ۵۰٪ تا ۶۰٪ سیکل گیت، دوره دوم اتکاء روی دو پا اتفاق می افتد که طی آن، وزن بدن از اندام تحتانی راست به اندام تحتانی چپ انتقال داده می شود. نهایتاً در ۶۰٪ تا ۱۰۰٪ سیکل گیت، بدن مجدداً در اتکاء روی یک پا (روی اندام تحتانی چپ) قرار می گیرد. زمانی که سرعت راه رفتن افزایش می یابد، مدت زمان دوره اتکاء روی دو پا کوتاه تر می شود (شکل ۴-۵). در راه رفتن تند (مسابقه ای)، ورزشکار تلاش می کند که تا حد امکان سریع راه برود در حالیکه همیشه یک پا در

1. Race Walking

حین دویدن، دوره های اتکاء روی دو پا از بین رفته و به جای آنها دوره هائی اتفاق می افتند که هر دو پا به طور همزمان از زمین جدا هستند. در نرخ گام حدود ۱۸۰ گام در دقیقه یا در سرعت حدود ۲/۱ تا ۲/۲ متر بر ثانیه (۴/۸ تا ۵ مایل بر ساعت)، راه رفتن به دویدن تبدیل می شود. برعکس در سرعت راه رفتن آهسته، دوره های اتکاء روی دو پا به طور فزاینده ای درصد بیشتری از یک سیکل گیت را اشغال می کنند. در راه رفتن آهسته، چون هر دو پا به طور همزمان در درصد بیشتری از سیکل گیت با زمین تماس دارند، ثبات بیشتری فراهم می شود. در واقع، عموماً در افراد مسن که ترس از افتادن یا نقایص قدرت دارند، کاهش سرعت، طول گام کوتاه تر، و نرخ گام آهسته تر دیده می شود تا ثبات راه رفتن افزایش یافته و از افتادن جلوگیری شود.

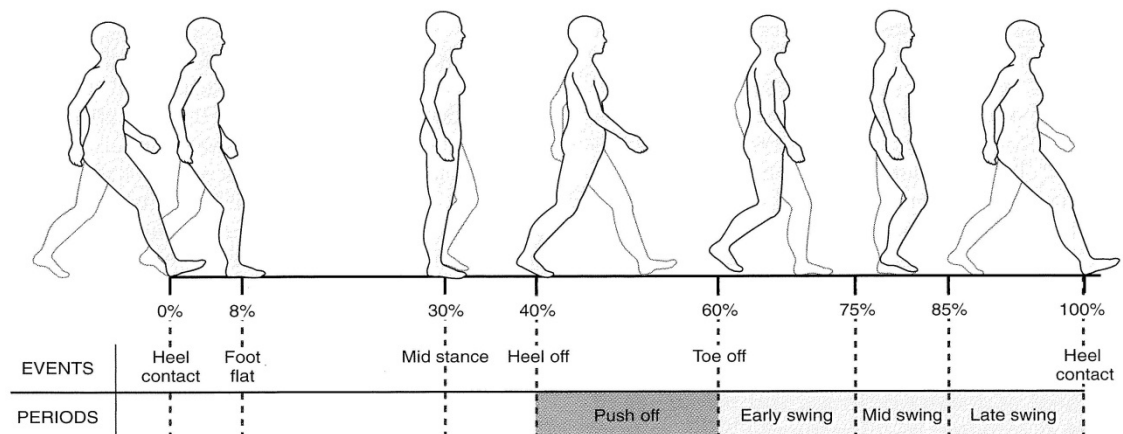
تقسیم بندی مراحل ایستایش و Swing

به طور مشخص ۵ واقعه حین مرحله ایستایش اتفاق می افتند: تماس پاشنه^۱، صاف شدن پا^۲، میانی ایستایش^۳، بلند شدن پاشنه^۴، و جدا شدن انگشتان^۵ (شکل ۷-۴ و جدول ۲-۴). تماس پاشنه، لحظه ای است که پاشنه در ۰٪ سیکل گیت با زمین تماس پیدا می کند. صاف شدن پا، لحظه ای است که کل سطح پلاننار پا با زمین تماس می یابد. این واقعه در حدود ۸٪ سیکل گیت اتفاق می افتد. میانه ایستایش اغلب به عنوان لحظه ای تعریف می شود که در آن وزن بدن مستقیماً از روی اندام تحتانی اتکاء عبور می کند. تعریف دیگر برای میانه ایستایش عبارتست از: زمانی که پای اندام تحتانی سمت Swing از کنار اندام تحتانی سمت ایستایش عبور می کند (یعنی پاها کنار هم قرار دارند). سومین تعریف برای میانه ایستایش چنین است: زمانی که تروکانتر بزرگ فمور در صفحه ساژیتال، به صورت عمود، بر بالای نقطه میانی

پای اتکاء واقع می شود. در واقعیت، این سه تعریف همگی با حدود ۳۰٪ سیکل گیت یا ۵۰٪ مرحله ایستایش مطابقت دارند. لحظه بلند شدن پاشنه در بین افراد به طور قابل توجهی متفاوت است و جایی بین ۳۰٪ و ۴۰٪ سیکل گیت اتفاق می افتد و مطابق با زمانی است که پاشنه از زمین جدا می شود. جدا شدن انگشتان در ۶۰٪ سیکل گیت اتفاق می افتد و لحظه ای است که انگشتان از زمین جدا می شوند. همچنین دوره ای تحت عنوان "کندن پا از زمین"^۶ مورد استفاده قرار می گیرد که به طور کلی با حرکت پلاننار فلکسیون مج پا در ۴۰٪ تا ۶۰٪ سیکل گیت مطابقت دارد. به طور قراردادی، مرحله Swing راه رفتن به سه بخش تقسیم می شود: مرحله ابتدائی^۷، مرحله میانی^۸، و مرحله آخر^۹ (شکل ۱۱-۱۵). مرحله ابتدائی Swing، دوره ای است از زمان جدا شدن انگشتان تا میانی Swing (از ۶۰٪ تا ۷۵٪ سیکل گیت). بخش میانی Swing، از کمی قبل تا کمی بعد واقعه ایستایش میانی اندام تحتانی مقابل مطابقت دارد، در این زمان پای اندام Swing از نزدیکی پای اندام ایستایش عبور می کند (از ۷۵٪ تا ۸۵٪ سیکل گیت). مرحله آخر یا نهائی Swing، دوره ای است از انتهای Swing میانی تا تماس پا با زمین (از ۸۵٪ تا ۱۰۰٪ سیکل گیت).

6. Push off
7. Early Swing
8. Mid Swing
9. Late Swing

1. Heel Contact
2. Foot Flat
3. Mid Stance
4. Heel off or Heel Rise
5. Toe off



شکل ۷-۴: تقسیم بندی سنتی سیکل گیت.

Swing دارای سه دوره زمانی است: اولیه^۵Swing، میانی^۶ Swing و انتهائی (پایانی)^۷Swing. به جز معدودی استثناء، این ترمینولوژی با توصیفات قبلی گیت به طور کلی سازگاری دارد.

• نکاتی از Norkin 2011:

- ۱- در ترمینولوژی سنتی، حد فاصل بین آغاز تماس اولیه و خاتمه صاف شدن پا، "مرحله برخورد پاشنه"^۸ اطلاق می شود.
- ۲- مرحله ایستایش میانی^۸ (در ترمینولوژی سنتی) با صاف شدن پا در ۷٪ سیکل گیت آغاز و با بلند شدن پاشنه در حدود ۴۰٪ سیکل گیت، خاتمه می یابد. مرحله ایستایش میانی در ترمینولوژی جدید RLA با جدا شدن اندام مقابل از زمین در حدود ۱۱٪ سیکل گیت، آغاز شده و زمانیکه بدن مستقیماً بر بالای سطح اتکاء واقع می شود (در حدود ۳۰٪ سیکل گیت) پایان می پذیرد.

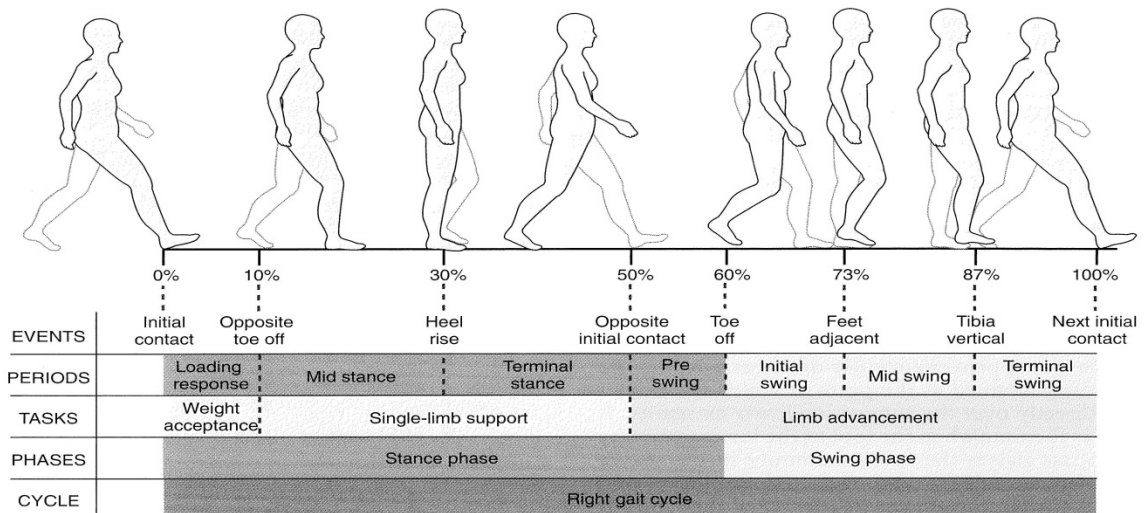
جدول ۳-۱۵: ترمینولوژی رایج تعریف تقسیمات سیکل گیت

مراحل	واقعه	درصد سیکل	وقایع اندام مقابل
ایستایش	تماس پاشنه	۰	
	صاف شدن پا	۸	
	میانی ایستایش	۳۰	جدا شدن انگشتان میانی Swing (۲۵٪ - ۳۵٪)
	بلند شدن پاشنه	۴۰-۳۰	
Swing	جدا شدن انگشتان	۶۰	
	ابتدائی Swing	۷۵-۶۰	
	میانی Swing	۸۵-۳۵	میانی ایستایش (۸۰٪)
	آخر Swing	۱۰۰-۸۵	
	تماس پاشنه	۹۰	بلند شدن پاشنه (۸۰٪ - ۹۰٪)
		۱۰۰	

اخیراً ترمینولوژی جدید تری به وسیله Perry مطرح شد که شامل ۸ واقعه و ۷ دوره می باشد (شکل ۸-۴). وقایع عبارتند از: تماس اولیه، جدا شدن انگشتان پای مقابل، بلند شدن پاشنه، تماس اولیه پای مقابل، جدا شدن انگشتان، مجاورت پاها، عمود شدن تیبیا، و تماس اولیه برای Stride بعدی. چهار دوره زمانی حین مرحله ایستایش اتفاق می افتند: پاسخ به بارگذاری^۲، میانی ایستایش، ایستایش انتهائی (پایانی)^۳، و پیش از Swing^۴. مرحله

5. Initial Swing
6. Terminal Swing
7. Heel Strike Phase
8. Midstance

1. Feet Adjacent
2. Loading Response
3. Terminal Stance
4. Pre swing



شکل ۸-۴: ترمینولوژی برای توصیف وقایع سیکل گیت. تماس اولیه، با آغاز ایستایش مطابق است یعنی زمانی که پا در ۰٪ سیکل گیت برای اولین بار با زمین تماس می یابد. جدا شدن انگشتان پای مقابل زمانی اتفاق می افتد که پای مقابل در ۱۰٪ سیکل گیت از زمین جدا می شود. بلند شدن پاشنه از زمین تقریباً در ۳۰٪ سیکل گیت اتفاق می افتد. تماس اولیه مقابل با تماس پای اندام مقابل مطابقت دارد که معمولاً در ۵۰٪ سیکل گیت رخ می دهد. جدا شدن انگشتان زمانی است که پا در ۶۰٪ سیکل گیت از زمین جدا می شود. مجاورت پاها زمانی اتفاق می افتد که در ۷۳٪ از سیکل گیت، پای اندام Swing در کنار پای اندام ایستایش قرار می گیرد. عمودی شدن تیبیا، وقتی است که تیبیای اندام Swing در ۸۳٪ سیکل گیت به صورت عمودی قرار می گیرد. واقعه پایانی مجدداً تماس اولیه است که در حقیقت شروع سیکل گیت بعدی می باشد. این ۸ واقعه، سیکل گیت را به ۷ دوره تقسیم می کنند. دوره پاسخ به بارگذاری، بین تماس اولیه و جدا شدن انگشتان مقابل بوده و طی این دوره، به وسیله اندامی که تماس با زمین را آغاز می نماید، پذیرش وزن صورت می گردد. دوره میانی ایستایش از زمان جدا شدن انگشتان مقابل تا بلند شدن پاشنه (۱۰٪ تا ۳۰٪ سیکل گیت) در نظر گرفته می شود. دوره پایانی (انتهایی) ایستایش از زمان بلند شدن پاشنه آغاز و با تماس اندام تحتانی مقابل با زمین خاتمه می یابد (از ۳۰٪ تا ۵۰٪ سیکل گیت). دوره Pre-Swing از تماس پای مقابل تا جدا شدن انگشتان همان پا (۵۰٪ تا ۶۰٪ یکل گیت) صورت می گیرد. دوره اولیه Swing از جدا شدن انگشتان تا مجاورت پاها (۶۰٪ تا ۷۳٪ سیکل گیت) را شامل می شود. دوره میانی swing از زمان مجاورت پاها تا عمودی شدن تیبیای اندام Swing (۷۳٪ تا ۸۷٪ سیکل گیت) ادامه می یابد. دوره پایانی swing از لحظه عمودی شدن تیبیا تا درست قبل از تماس پاشنه (۸۷٪ تا ۱۰۰٪ سیکل گیت) اتفاق می افتد. ۱۰٪ اول سیکل گیت با عمل پذیرش وزن مطابق است که طی آن وزن بدن از یک اندام تحتانی به روی دیگری منتقل می شود. دوره اتکاء روی یک پا (از ۱۰٪ تا ۵۰٪ سیکل گیت) در جهت حمایت وزن بدن عمل می کند در حالیکه اندام مقابل به جلو پیش می رود. ۱۰٪ آخر مرحله ایستایش و کل مرحله Swing برای پیش بردن اندام به جلو به یک مکان جدید عمل می کند.

بدست می آید. زمانی که گیت آغاز می شود مومنتوم بدن به جلو، مرکز ثقل بدن (COM) را به فراتر از محل جدید پا می برد؛ فلذا یک گام به جلو با پای دیگر ضرورت می یابد. بنابراین با تغییر محل های متوالی و متناوب پاها، پیشروی به جلو حاصل می شود.

مرکز ثقل بدن درست در قدام مهره دوم ساکرال قرار می گیرد؛ اما با دنبال کردن جابجائی سر یا تنه بهتر می توانیم حرکت مرکز ثقل بدن را تجسم کنیم. مشخصاً، قابل توجه ترین جابجائی بدن حین راه رفتن به سمت جلو است (شکل ۹-۴). اما دو الگوی حرکتی سینوسی روی این جابجائی به سمت جلو سوار می شوند

وجود دو ترمینولوژی متفاوت می تواند باعث اشتباه شود به ویژه وقتی که به جای یکدیگر استفاده می شوند. در این جا عمدتاً از ترمینولوژی مطرح شده به وسیله Perry استفاده می شود و برای پرهیز از سردرگمی، زمان بندی وقایع گیت اغلب به صورت درصد سیکل گیت بیان شده است.

جابجائی مرکز ثقل بدن و کنترل آن

راه رفتن را می توان به عنوان مجموعه ای از دست دادن و بازیابی تعادل تعریف کرد. راه رفتن با متمایل شدن بدن به سمت جلو آغاز می شود. برای اجتناب از افتادن، با حرکت دادن یکی از دو پا به سمت جلو به یک محل جدید، بازیابی لحظه ای تعادل

که در واقع با حرکت مرکز ثقل در جهات عمودی و طرفی مطابقت دارند. در جهت عمودی، مرکز ثقل بدن به سمت بالا و پائین نوسان نموده و در هر سیکل گیت، دو موج سینوسی کامل را می سازد (شکل ۹A-۴). با نگاه کردن به فرد از پهلو، بهتر می توان این حرکت مرکز ثقل را درک نمود. در نقطه میانی هر دو دوره اتکاء روی دو پا (یعنی زمان های ۵٪ و ۵۵٪ سیکل گیت) مرکز ثقل بدن، کمترین ارتفاع را دارد. بیشترین ارتفاع مرکز ثقل در نقطه میانی هر دو دوره اتکاء روی یک پا (یعنی زمان های ۳۰٪ و ۸۰٪ سیکل گیت) اتفاق می افتد. کل جابجائی عمودی مرکز ثقل در مردان بالغ در سرعت راه رفتن متوسط، حدود ۵ سانتی متر گزارش شده است.

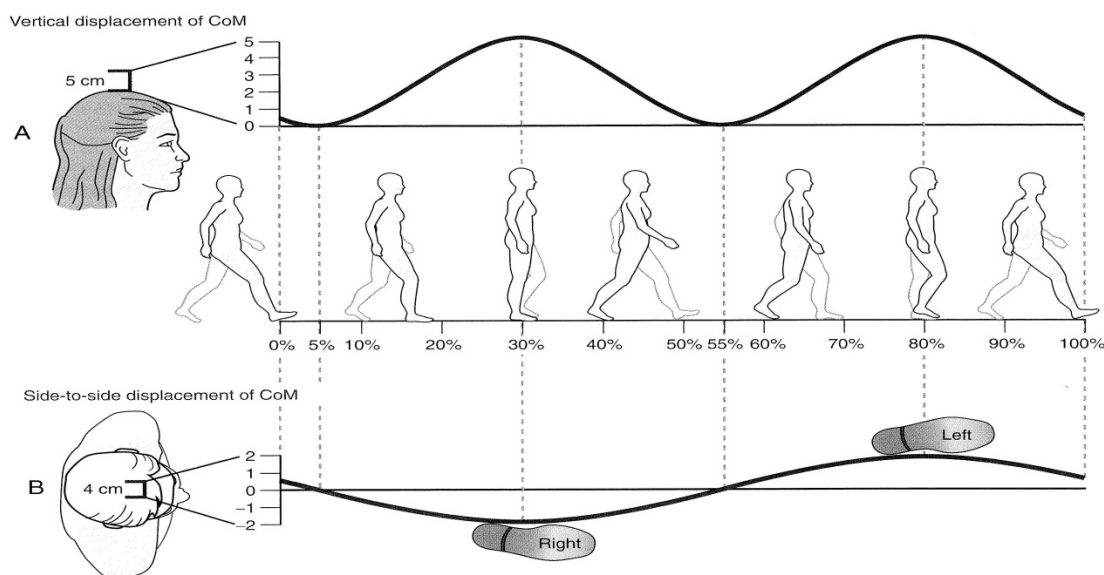
حین راه رفتن، مرکز ثقل همچنین از اندام تحتانی راست به چپ جابجا می شود و یک الگوی سینوسی منفرد طرفی^۱ (راست به چپ) در هر سیکل گیت را بوجود می آورد (شکل ۹B-۴). در نقطه میانی مرحله ایستایش روی اندام تحتانی راست (یعنی ۳۰٪ سیکل گیت)، مرکز ثقل بدن در جانبی ترین موقعیت خود به راست قرار دارد و در نقطه میانی مرحله ایستایش روی اندام تحتانی چپ (یعنی ۸۰٪ سیکل گیت)، مرکز ثقل بدن در جانبی ترین موقعیت خود به چپ واقع می شود. دود ۴ سانتی متر جابجائی طرفی مرکز ثقل حین راه رفتن اتفاق می افتد. میزان جابجائی مرکز ثقل حین راه رفتن با قاعده اتکاء پهن تر، افزایش می یابد و در صورت راه رفتن با قاعده اتکاء باریک تر، کاهش می یابد.

اکنون به الگوی کلی حرکت مرکز ثقل حین یک سیکل کامل گیت توجه کنید (شکل ۹-۴). در شروع، درست کمی بعد از تماس پاشنه راست، مرکز ثقل به سمت جلو، بالا و به طرف پای راست حرکت می کند. این جهت کلی حرکت تا ۳۰٪ اول سیکل گیت ادامه می یابد؛ در واقع ضرورتاً جرم بدن در حال صعود و جابجائی به روی اندام تحتانی اتکاء است. در زمان میانه

ایستایش روی پای راست، مرکز ثقل به بالاترین نقطه و جانبی ترین موقعیت به راست قرار می گیرد. درست پس از میانه ایستایش روی پای راست، مرکز ثقل همچنان به سمت جلو حرکت می کند اما اکنون شروع به جابجائی به سمت پائین و به طرف چپ بدن می نماید؛ چرا که مرکز ثقل بدن در حال پائین آمدن و دور شدن از اندام تحتانی اتکاء می باشد. این زمان، یک لحظه بحرانی حین راه رفتن است. در حالیکه اندام تحتانی چپ در مرحله Swing خود می باشد، بدن به اندام تحتانی چپ متکی است تا تماس محکمی را با زمین برقرار سازد و با پذیرش انتقال وزن از افتادن جلوگیری کند. در فاصله زمانی کوتاهی پس از تماس پاشنه، حین دوره اتکاء روی دو پا، مرکز ثقل در حد وسط بین پاها قرار گرفته و به پائین ترین موقعیت خود می رسد؛ در حالیکه همچنان به حرکت خود به سمت جلو و به طرف اندام تحتانی چپ ادامه می دهد.

از زمان جدا شدن انگشتان راست تا میانی ایستایش روی اندام تحتانی چپ (۸۰٪ سیکل گیت)، مرکز ثقل به جلو، بالا، و به طرف اندام تحتانی چپ (که اکنون اتکاء را فراهم می کند) حرکت می کند. در ۸۰٪ سیکل گیت، مرکز ثقل مجدداً در بالاترین ارتفاع قرار می گیرد اما این بار در جانبی ترین موقعیت به چپ واقع است. بعد از زمان میانی ایستایش روی اندام چپ، حرکت مرکز ثقل به سمت پائین و به طرف سمت راست بدن تغییر می کند. زمانی که پای راست با زمین تماس یافت، سیکل گیت کامل شده و پروسه مجدداً تکرار می شود.

1. Single Side-to-Side Sinusoidal Pattern



شکل ۹-۴: جابجائی مرکز ثقل حین راه رفتن. جابجائی عمودی و طرفی مرکز ثقل به ترتیب در تصاویر A و B نشان داده شده اند. در میانه دوره اتکاء روی دو پا (یعنی ۵٪ و ۵۵٪ سیکل گیت)، مرکز ثقل در پائین ترین نقطه و مرکزی ترین وضعیت (در جهت طرفی) قرار دارد؛ که یک وضعیت ثبات نسبی است چرا که هر دو پا با زمین تماس دارند. برعکس، در زمان میانی ایستایش (۳۰٪ و ۸۰٪ سیکل گیت) که یک موقعیت بی ثباتی نسبی در نظر گرفته می شود، مرکز ثقل در بالاترین و طرفی ترین وضعیت قرار دارد. حین اتکاء روی یک پا، هرگز مسیر حرکت مرکز ثقل مستقیماً بر روی قاعده اتکاء نخواهد بود. این مطلب در شکل B نشان داده شده که امتداد عمودی مرکز ثقل همیشه بین تصاویر پا واقع می شود.

و آهسته می شود؛ برعکس زمانی که اندام تحتانی اتکاء در پشت مرکز ثقل بدن قرار دارد سرعت حرکت بدن بالا می رود. بنابراین در مرحله میانی ایستایش، زمانی که مرکز ثقل بدن روی اندام تحتانی اتکاء به نقطه اوج می رسد، بدن به کمترین سرعت خود می رسد. در عوض حین دوره اتکاء روی دو پا به بالاترین سرعت خود دست می یابد، یعنی زمانی که از اندام تحتانی اتکاء به پائین می افتد و قبل از آن که روی اندام مقابل به بالا صعود کند. چون انرژی جنبشی بدن حین راه رفتن مستقیماً به سرعت آن بستگی دارد ($Kinetic Energy = 0.5 mv^2$)، کمترین انرژی جنبشی در زمان میانی ایستایش (در زمان های ۳۰٪ و ۸۰٪ سیکل گیت) وجود دارد و حداکثر انرژی جنبشی در زمان اتکاء روی دو پا (در زمان های ۵٪ و ۵۵٪ سیکل گیت) اتفاق می افتد (شکل ۱۰-۴). در فرمول انرژی جنبشی، m به معنی جرم بدن و v به معنی سرعت مرکز ثقل بدن است. انرژی جنبشی به وسیله انرژی پتانسیل کامل می شود (شکل ۱۰-۴).

لازم به ذکر است که حین اتکاء روی یک پا، هرگز مرکز ثقل بدن مستقیماً بر روی قاعده اتکاء بدن قرار نمی گیرد (شکل ۹B-۴). این موضوع بازگو کننده عدم تعادل نسبی بدن حین راه رفتن است، به ویژه حین اتکاء روی یک پا، در این زمان پا می بایست کمی خارج به امتداد عمودی مرکز ثقل بدن قرار داده شود تا حرکت طرفی مرکز ثقل بدن کنترل شود. با توجه به توانائی محدود عضلات مفصل ساب تالار برای کنترل حرکت طرفی مرکز ثقل، نقش حرکات هیپ در صفحه فرونتال (یعنی ابداسیون و اداکسیون هیپ) برای قرار گیری پا در محل مناسب بسیار حیاتی است.

ملاحظات انرژی جنبشی و پتانسیل

گرچه چنین به نظر می رسد که راه رفتن با سرعتی یکنواخت به جلو اتفاق می افتد، اما در حقیقت در هر گام، سرعت حرکت مرکز ثقل بدن کمی افزایش و کاهش می یابد. زمانی که اندام تحتانی اتکاء در جلوی مرکز ثقل بدن قرار دارد حرکت بدن کند