منسوجات ورزشی

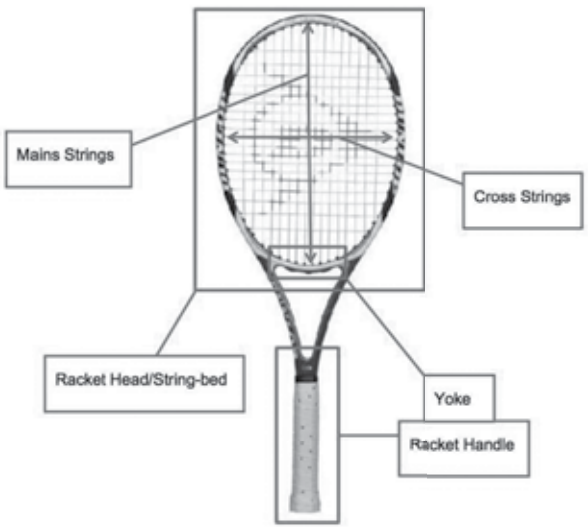
زه راکت تنیس و نحوه چیدمان

تهیه و تنظیم: دکتر فرناز نایب‌مراد

تاریخچه تنیس

قدمت ورزش تنیس به گذشته‌های بسیار دور، در مصر باستان برمی‌گردد. البته این ورزش به شکل امروزی نبوده و تنها با توپ، بدون داشتن راکت انجام می‌گرفت. اولین اسناد مربوط به ابعاد زمین و قوانین ورزش به قرن ۱۲ در فرانسه بازمی‌گردد. در قرن ۱۲ تا ۱۴ ورزش تنیس بیشتر در فرانسه انجام می‌گرفت. این ورزش در آن زمان متعلق به طبقات بالای اجتماع بوده است. در اواسط قرن ۱۵ میلادی، این ورزش در فرانسه کم کم به شکل امروزی که ما می‌شناسیم در می‌آید. راکت زه‌کشی شده در همین زمان به بازی اضافه می‌شود. برای چند صد سال تغییر چشمگیری در تنیس به وجود نمی‌آید. تنها تغییر عمده در شکل سر راکت اتفاق می‌افتد. در قرن ۱۹ شکل سر راکت به شکل امروزی، بیضی شکل، به عنوان شکل استاندارد پذیرفته می‌شود. در اوایل قرن ۲۰ قوانین تنیس به صورت منظم‌تر تدوین شد. در قدیم زمین این ورزش دارای دیوار بوده است، تقریباً چیزی شبیه به زمین اسکواش امروزی، اما در قرن ۲۰ تمامی دیوارها برداشته شد و زمین و اندازه آن به شکل استاندارد امروزی درآمد.

با اختراع تلویزیون و تماشای ورزش تنیس در سطح وسیع، تعداد بازیکنان حرفه‌ای این ورزش، سطح توانایی آنها و نحوه برگذاری مسابقات افزایش چشمگیری پیدا کرد. تجهیزات و مواد استفاده شده در آن‌ها توسعه تغییر پیدا کرد. اولین راکتی که از ماده‌ای به جز چوب ساخته شد Wilson T2000 تمام فلزی بود که توسط مرد شماره ۱ تنیس در آن زمان، jimmy Connors، مورد استفاده قرار گرفت و همه گیر شد. توسعه در ساخت فریم راکت از آلومینیوم باعث امکان ساخت اولین راکت‌های over-sized شد که تفاوت عمده آنها در ابعاد سر راکت است. افزایش ابعاد سر راکت تنیس هم در میان بازیکنان حرفه‌ای، هم بازیکنان آماتور با اقبال خوبی روبه‌رو شد و علت این امر افزایش ابعاد sweet spot کاهش زدن ضربه بد و از دست دادن توپ است. به‌عبارت مختصر، راکت‌های oversize باعث شد کیفیت بازی تنیس افزایش یابد. شکل ۱ویژگی‌های اصلی یک راکت تنیس امروزی را بیان می‌کند.



شکل ۱- اجزاء یک راکت over-sized امروزی

جدول ۱: ابعاد سر راکت‌های امروزی

Mid Size	550 – 615 cm^2
Mid Plus	621 – 680 cm^2
Over Size	686 – 761 cm^2
Super Over Size	+767 cm^2

با اینکه قدمت ورزش تنیس به شکل امروزی به اواسط قرن ۱۵ برمی‌گردد، سال ۱۹۷۰ (زمانی که فردی از آلمان شرقی متد جدیدی برای زه‌کشی راکت طراحی کرد.) بود که ITF تعریفی از راکت تنیس ارائه داد. روش زه‌کشی که باعث این تغییر شد به نام روش «زه‌کشی اسپاگتی» معروف است. قوانین مربوط به راکت تنیس از طرف ITF سخت‌گیرانه نیست و می‌تواند به صورت پایه‌ای در چند کلمه خلاصه شود: راکت و زه‌کشی آن باید متحد باشد.

هدف

هدف از انجام این پژوهش بررسی کارکرد زه راکت تنیس برای ارتقاء نحوه انجام این ورزش بوده است. چگونگی ضربه زدن به توپ، کنترل و چرخش آن در ورزش تنیس از مهم‌ترین عوامل هستند و عاملی که به صورت مستقیم با این امر در ارتباط است زه راکت است.

خود زه راکت و فاکتورهای وابسته به آن، مثل مقدار تنش وارد شده به آن و نوع زه کشی را نیز می‌توان به آسانی تغییر داد. از طرفی در حال حاضر زه‌های موجود در بازار بسیار متنوع‌اند و بازه وسیعی از خواص را در خود جای می‌دهند. بنابراین در این زمینه محدودیتی وجود ندارد.

اما برای ارائه بازی حرفه‌ای و نتیجه بهتر باید خواص انواع زه و نحوه کارکرد آنها را شناخت تا بتوان به شکل بهتر و هوشمندانه‌تری از آن در جهت اهداف خود استفاده کرد. در قسمت دوم از آزمایش شبیه‌سازی زه راکت تنیس که توسط David Weir انجام گرفته، استفاده شده است.

در این شبیه‌سازی زه از نظر نوع چیدمان مورد بررسی قرار گرفته است. البته خود این چیدمان از ۴ نقطه نظر تراکم، زاویه، اندازه و متریال مورد بررسی قرار گرفته است.

در قسمت سوم روشی برای بررسی استاندارد زه آورده شده است. در این بررسی رفتار زه و به صورت مشخص نحوه تغییر تنش زه در اثر عواملی مثل گذشت زمان و ضربه مطالعه شده است.

در قسمت چهارم نحوه انجام و نتایج به دست آمده بر روی ۴ نوع زه بیان شده است. این آزمایش استحکام این ۴ نوع زه را بررسی کرده است. در پایان نتایج و پیشنهادها عنوان شده است.

در این بخش چگونگی تاثیر زه‌کشی‌های متفاوت از نظر تراکم زه‌ها، قطر زه‌ها، زاویه‌های مختلف زه‌کشی و مواد تشکیل‌دهنده آنها در راکت تنیس بررسی خواهد شد.

معیار در همه این چهار نوع تقسیم‌بندی میزان چرخش توپ با هر کدام از انواع صفحات زه‌کشی شده مورد آزمایش، در زمان ضربه است. به این معنا که چرخش بیشتر توپ نشان دهنده وضعیت و کیفیت بهتر زه‌ها است. به منظور انجام این آزمایشات موقعیت‌های مورد نظر به صورت المان محدود شبیه‌سازی شده است.

زه‌کشی با تراکم‌های متفاوت

در این قسمت ۴ صفحه زه‌کشی شده با تعداد متفاوتی زه عمودی و افقی مورد بررسی قرار گرفته است، جدول۲. به تمامی این زه‌ها تنشی معادل N 223 وارد شده است. خواص زه‌ها در زیر آمده:

$E = ۲۴۸۳$ MPa

$\rho = ۱۳۰۱$ kg/m^3

$\Upsilon = ۰/۳۵$

جدول۲: مشخصات صفحه زه کشی شد

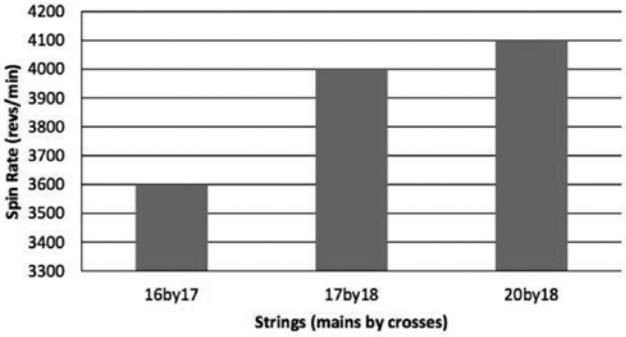
	Mains/Crosses	String spacing	String diameter	Modified E (MPa)
String-bed 1	16/16	12 mm	1.38 mm	2.800×10^3
String-bed 2	16/17	12 mm	1.38 mm	2.760×10^3
String-bed 3	17/18	10 mm	1.38 mm	2.625×10^3
String-bed 4	18/20	10 mm	1.38 mm	2.483×10^3

نتایج به دست آمده در شرایطی است که توپ با سرعت ۳۰ m/s و با زاویه ۳۲° نسبت به صفحه زه‌کشی شده با آن برخورد می‌کند. هر چه زمان تماس توپ و زه‌ها بیشتر شود نیروی پتانسیل بیشتری در توپ ذخیره می‌شود (توپ بیشتر تغییر شکل می‌دهد). که از طرفی این نیرو می‌تواند صرف چرخش توپ شود. پس این چرخش به مدت زمان تماس توپ با راکت وابسته است و مدت زمان خود به میزان سختی صفحه زه‌کشی شده، وابسته است.

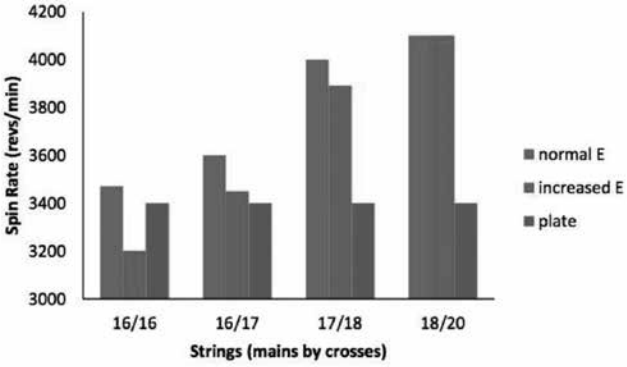
برای مشخص کردن سختی یکسان و در نتیجه جابه جایی یکسان در تراکم‌های مختلف، به ۱۵ زه مرکزی هر کدام ۱۰ N نیرو وارد شده که جمعاً می‌شود ۱۵۰ N. با اندازه گیری جا به جایی صفحات زه کشی در راستای Z تحت این نیرو ، به هر صفحه یک مدول اختصاص داده شد و جا به جایی و سختی تمامی صفحات با صفحه چهارم یعنی ۲۰–۱۸ یکی شد. مقدار این مدول که با عنوان مدول اصلاح شده معرفی شده، در جدول ۲ آمده است.

در شکل ۲ می‌توان دید که با افزایش تعداد زه‌ها، چرخش توپ هم تمایل به زیاد شدن دارد. فاکتورهای متعددی وجود دارد که منجر به این افزایش می‌شوند. این امر ممکن است در اثر زیاد شدن تماس بین توپ و زه‌ها که ناشی از زیاد شدن تعداد زه‌ها

است، باشد (تعداد زه بیشتری با توپ در تماس بوده است). یکی از نکات جالب این نتایج این است که زیاد شدن تعداد زه‌های عمودی تاثیر کمتری نسبت به زه‌های افقی، روی چرخش توپ دارند. شکل۲ نشان می‌دهد زمانی که ۱ زه و یک زه افقی اضافه می‌شود، افزایش حدود ٪۱۱ اتفاق می‌افتد. درحالی‌که با اضافه شدن ۳ زه عمودی تنها ٪۲/۵ افزایش چرخش رخ می‌دهد.



شکل ۲: میزان چرخش توپ برای زه‌کشی با تراکم متفاوت



شکل ۳: مقایسه میزان چرخش توپ در زه‌کشی با تراکم و شرایط متفاوت

رابطه بین میزان چرخش در E نرمال و اصلاح شده هم در جدول مشخص است. می‌توان مشاهده کرد که میزان چرخش برای E اصلاح شده کم‌تر از چرخش برای E نرمال است.

با توجه به این نتایج می‌توان مشاهده کرد که میزان چرخش توپ با افزایش تراکم صفحه زه‌کشی شده، افزایش می‌یابد.

به عنوان نقطه مرجع، توپ با سرعت ۳۰m/s و زاویه ۳۲° نسبت به خط عمود، با یک سطح صاف هم برخورد داده شده است. این کار به ما این اجازه را داد که ببینیم میزان چرخش بدون حضور فاکتورهایی مثل میزان در هم تنیده شدن زه‌ها و تاثیر زمان تماس توپ با زه‌ها، که ناشی از تغییر شکل صفحه زه‌کشی شده بود، چگونه است . جالب بود که مقدار چرخش همواره کم تر از مقداری است که E نرمال داشته است. ولی راجع به E اصلاح شده، در بازترین شکل صفحه زه‌کشی شده (۱۶-۱۶) مقدار چرخش کم‌تر از مقدار آن در صفحه صاف است.

حال این سوال پیش می‌آید که آیا دو عامل مدت زمان تماس و میزان در هم تنیدگی زه‌ها، دو عامل مستقل از چرخش هستند؟ یا در تعامل‌اند؟ برای مثال در زه‌کشی با تراکم ۱۶-۱۶ زیاد شدن زمان تماس باعث کاهش چرخش نسبت به سطح صاف شده است. این امر می‌تواند این اتفاق را توضیح دهد که چرا در زه‌کشی ۱۶-۱۶ با E نرمال، میزان چرخش نسبت به سطح صاف بیشتر است. چون این سطح زه‌کشی دارای سختی کم‌تر و زمان تماس کم‌تری برای کاهش انرژی ناشی از درهم تنیدگی زه‌ها بوده است.

دو مکانیزم برای ایجاد چرخش در توپ مهم هستند. یکی فاز تضعیف و دیگری فاز ضربه. اگر فاز تضعیف طولانی شود، که در سطح صاف اتفاق می‌افتد و ناشی از صیقلی بودن آن و به اصطلاح نداشتن تخلخل در سطح آن است، میزان بیشتری از انرژی تلف می‌شود که باعث کم شدن چرخش توپ می‌شود. برای به حداکثر رساندن میزان چرخش، فاز تضعیف باشد حداقل شود و فاز ضربه با شتاب بیشتری انجام گیرد. این نتایج نشان می‌دهد که این امر با در هم تنیده شدن زه‌ها محقق می‌شود. که در اینجا با عنوان صفحه زه‌کشی شده معرفی می‌شود. اگر میزان این خلل و فرج یا سوراخ‌ها (ناحیه خالی بین زه‌ها) بیش از حد افزایش یابد، مدت زمان تماس زیاد می‌شود و تمام مزیت‌ها از بین می‌رود.

زه‌کشی با قطرهای متفاوت

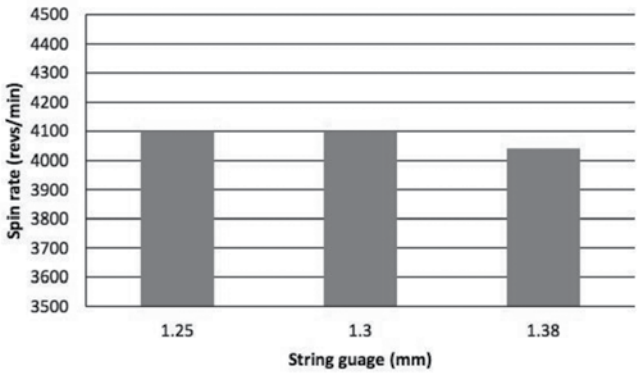
از آن جایی که الاستیسیته زه رابطه معکوس با تعداد قسمت‌های (خالی) افقی دارد، زه های نازک‌تر مطلوب‌تر است. علت این امر آن است که زه نازک‌تر در زمان بارگذاری از نظر الاستیکی بیشتر تغییر شکل می‌دهد، بنابراین به بازیکن اجازه کنترل و اعمال نیروی بیشتری می‌دهد.

می‌توان این انتظار را داشت که، به علت کاهش فاصله بین زه‌ها و سخت‌تر شدن صفحه زه‌کشی شده راکت، افزایش ابعاد زه‌ها اثری مشابه افزایش تراکم زه‌ها (افزایش تعداد زه‌ها) داشته باشد. به همین منظور ۳ نوع زه که از نظر ابعاد با یکدیگر متفاوت هستند مورد بررسی قرار گرفته است. مدلی که در اینجا مورد آزمایش قرار گرفته است شبیه به مدل چهار در جدول ۲ است با ۱۸ زه عمودی و ۲۰ زه افقی، تنها تفاوت در ابعاد زه‌ها است. نتایج در شکل ۳ آمده است. همانطور که انتظار می‌رفت، کاهش ناچیزی در چرخش توپ در زه با بزرگترین ابعاد، ۱/۳۸ mm، اتفاق افتاده است که ناشی از افزایش در سختی پدید آمده توسط این زه است.

زه‌کشی با زوایای متفاوت

مشاهده شد که زه‌کشی با تراکم متفاوت به روی چرخش توپ موثر است. سوال جالب دیگر می‌تواند این باشد که، چگونه جهت‌گیری

متفـاوت زهـا روی چرخـش تـوپ می‌توانـد موثـر باشـد؟ می‌تـوان فـرض کـرد کـه بـا افزایـش بافـت زهـا، میـزان سـوراخ‌ها (ناحیـه خالـی بیـن زهـا) افزایـش یافتـه در نتیجـه تراکـم افزایـش می‌یابـد. امـا چگونگـی تغییر در چرخـش تـوپ ناشـی از زاویـه متفـاوت زهـا مشـخص نیسـت.



شکل ٤: میزان چرخش توپ در زه‌کشی با ابعاد متفاوت

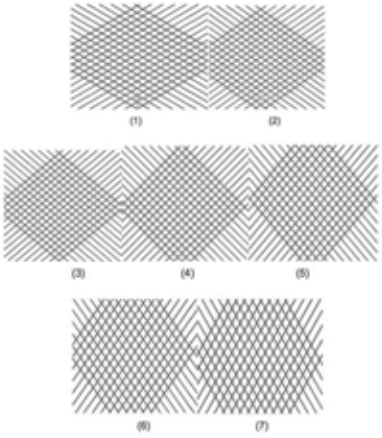
در اینجـا ۷ صفحـه راکـت مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت کـه در همـه آنهـا از ۲۰ زه افقـی و ۲۰ عمـودی اسـتفاده شـده. در ایـن ۷ صفحـه زاویـه Φ (زاویـه بیـن محـور y بـا زه‌هـای اصلـی) از ۳۰° تـا ۶۰° بـا اختـلاف ۵° تغییـر کـرده اسـت (شـکل ۵). مشـخصات ایـن صفحه‌هـا در جـدول ۳ آمـده اسـت.

شکل ٥: نحوه زه‌کشی جدید

جدول ۳: زه‌کشی با جهت‌های متفاوت

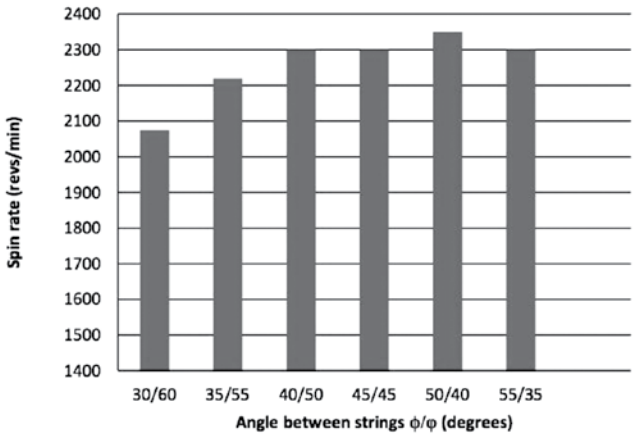
	Φ (degrees)	Stiffness (kN/m)
String-bed 1	60	16.05
String-bed 2	55	16.1
String-bed 3	50	16.11
String-bed 4	45	16.08
String-bed 5	40	16.02
String-bed 6	35	16.05
String-bed 7	30	16.1

در ایـن قسـمت هـم مثـل قسـمت قبـل برخـورد تـوپ بـا صفحه زه‌کشـی شـده بـا سـرعت ۳۰s و بـا زاویـه ۳۲° نسـبت بـه صفحـه زه‌کشـی شـده، انجـام گرفتـه اسـت.



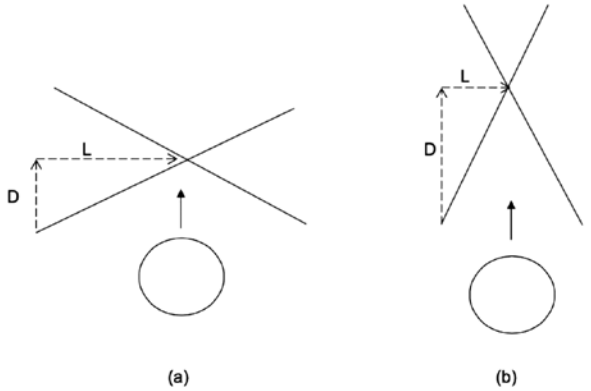
شکل٦: ۷ صفحه زه‌کشی شده با جهت‌های متفاوت

تفـاوت در میـزان چرخـش بـا جهت‌گیری‌هـای متفـاوت زهـا در شـکل ۶ قابـل مشـاهده اسـت. اولیـن چیـزی کـه از از نتایـج مشـخص اسـت، ایـن اسـت کـه همـواره مقـدار چرخـش تـوپ نسـبت بـه حالـت زه‌کشـی مرسـوم کم‌تـر اسـت. ایـن کاهـش میـزان چرخـش می‌توانـد ناشـی از تغییـر در سـختی صفحـه زه‌کشـی شـده نسـبت بـه سـختی در صفحـه زه‌کشـی شـده بـه روش مرسـوم باشـد. در واقـع سـختی زه‌کشـی بـا جهـات مختلـف (همـه آنهـا سـختی تقریبـاً مشـابهی دارنـد) ٪۲۲ کم‌تـر از سـختی صفحـه زه‌کشـی شـده بـه روش معمـول اسـت. ایـن کاهـش خـود بـه علـت افزایـش ناحیـه خالـی بیـن زهـا اسـت. بنابرایـن جابجایـی در ایـن نـوع زه‌کشـی‌ها بیشـتر و راحت‌تـر اتفـاق می‌افتـد.

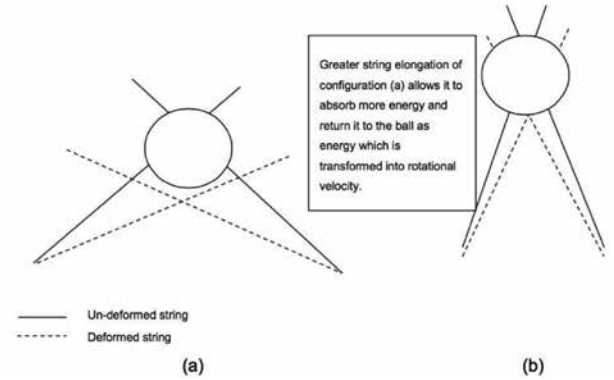


شکل ۷: میزان چرخش توپ در زه‌کشی با جهت‌های متفاوت

بـا توجـه بـه شـکل ۷ میـزان چرخـش تـوپ بـا افزایـش زاویـه Φ بیشـتر شـده و در Φ=۵۰ بـه حداکثـر مقـدار خـود رسـیده اسـت. بنابرایـن بـه نظـر می‌رسـد، بـا افزایـش زاویـه زهـا نسـبت بـه مسـیر حرکـت تـوپ، چرخـش تـوپ تمایـل بـه افزایـش دارد. بـرای مثـال در شـکل‌های ۷ a و ۸ a چرخـش بیشـتری نسـبت بـه ۷ b و ۸ b اتفـاق می‌افتـد. (در قسـمت‌های a مقـدار Φ بیشـتر از مقـدار آن در قسـمت‌های b اسـت)



شکل ۸: برخود توپ با دو شکل متفاوت زه‌کشی



شکل ۹: تغییر شکل زه‌ها در زمان ضربه

این امر توضیح این مسئله است که، پس از آنکه زه توسط برخورد توپ در جهت توپ جابه‌جا شد، انرژی جذب شده از توپ را در جهت مخالف به آن بازمی‌گرداند. بنابراین انرژی چرخشی به توپ انتقال می‌یابد. دلیل اینکه چرا در شکل a توانایی انجام این کار بیشتر است، این است که مقدار L که نقش زه عمودی را دارد نسبت به L در شکل b بزرگ‌تر است. بنابراین مقاومت کم‌تری در برابر جابه‌جایی در جهت مسیر توپ دارد و انرژی بیشتری برای حرکت انتقالی جذب می‌کند (انرژی که دوباره به توپ باز می‌گرداند). به صورت تجربی کشیدگی بیشتری در آن اتفاق می‌افتد. این مسئله همچنین نشان می‌دهد که چرا زه‌کشی به صورت مرسوم بازده بیشتری دارد و چرخش توپ بیشتری به همراه دارد. چون زه‌های عمودی در حالت مرسوم بهترین موقعیت و شرایط بهینه برای تغییر شکل (جابه‌جایی) توسط چرخش تولید شده توسط توپ را دارا هستند.

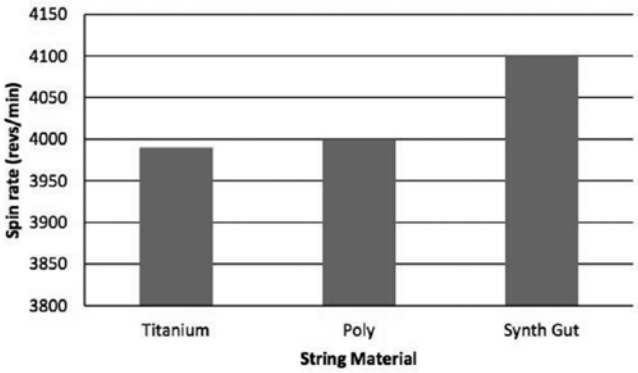
زه‌کشی با زه‌هایی با جنس‌های متفاوت

برای مشاهده کردن تفاوت بین زه‌ها با جنس‌های مختلف در چرخش توپ، از سه نوع زه تیتانیوم پلیمر، پلی‌استر و زه مصنوعی استفاده شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. در اینجا نیز توپ با سرعت ۳۰m/s و با زاویه ۳۳° نسبت به صفحه زه‌کشی شده با آن برخورد کرده است. اطلاعات مربوط به زه با جنس‌های مختلف در جدول ۵ آمده است. تمامی زه‌ها دارای سطح مقطع یکسان و برابر با ۱/۳۸ mm می‌باشد.

جدول ٤ : خصوصیات زه با جنس‌های متفاوت

Material	Young's modulus (MPa)	Density (kg/m^3)	Poisson's ratio
Titanium	5.015×10^3	2056	0.35
Polyester	3.886×10^3	1565	0.35
Synth Gut	4.369×10^3	1670	0.35

نتایج در شکل ۱۰ آمده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت سخت‌ترین ماده یعنی تیتانیوم پلیمر کم‌ترین میزان چرخش را ناشی می‌شود. به علت اینکه، سطح زه‌کشی شده‌ی سخت‌تر باعث تغییر شکل بیشتر توپ می‌شود، که در بازگشت منجر به میزان بیشتری اتلاف انرژی می‌شود. در مقابل کم‌ترین تغییر شکل توپ در زه مصنوعی اتفاق می‌افتد. در نتیجه منجر به بیشترین مقدار چرخش توپ می‌شود.



شکل ۱۰: میزان چرخش توپ در زه‌کشی با جنس متفاوت

منابع

1. R. Cross and R. Bower ,(2006) Measurements of string tension in a tennis racket , University of Sydney, University of Technology
2. P.K.Chidambaram , R.Ramakrishanan , Impact, String Tension and Vibration Analysis of Nanocomposite Based Tennis Racket Frame ,Tamil Nadu Physical Education and Sports University
3. P. K. Chidambaram and R. Ramakrishanan, (2013) Synthesis, Testing of Nylon 6,6/Multi-wall Carbon Nanotube and Modeling, Analysis of Tennis Racket Frame and String, Tamil Nadu Physical Education and Sports University
4. ROB BOWER & ROD CROSS, (2004) String tension effects on tennis ball rebound speed and accuracy during playing conditions , University of Technology Sydney
5. Tanawat Vanasant, Somjarod Mingkhumlert, Weerawat Limroongreungrat, THE EFFECT OF STRING TENSION ON SHUTTLECOCK VELOCITY, Department of Sports Science, Mahidol University, Thailand
6. Yao-dong Gu , Jian-she Li,(2007)Dynamic Simulation of Tennis Racket and String, Ningbo University
7. David Weir, (2012) Finite element modelling of tennis racket impacts to predict spin generation, A Doctoral Thesis. Loughborough University.
8. Ros Cross , Crawford Lindsey , Daniel Andruczyk . Physics Department , University of Sydney , NSW , Australia

ادامه مطالب مربوط به راکت تنیس در شماره بعدی